



Brazilian Journal of Biomotricity

ISSN: 1981-6324

marcomachado@brjb.com.br

Universidade Iguazu

Brasil

Vancini, Rodrigo Luiz; Bosco Pesquero, João; de Freitas Guina Fachina, Rafael Júlio; Carderelli Minozzo, Fábio; dos Santos Andrade, Marília; Borin, João Paulo; Montagner, Paulo César; Barbosa de Lira, Claudio Andre

O QUE EXPLICARIA O FANTÁSTICO FENÔMENO DE RENDIMENTO ESPORTIVO DOS
CORREDORES AFRICANOS?

Brazilian Journal of Biomotricity, vol. 7, núm. 1, marzo, 2013, pp. 1-13

Universidade Iguazu

Itaperuna, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93026211001>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

INVITED REVIEW (ARTIGO DE REVISÃO)

O QUE EXPLICARIA O FANTÁSTICO FENÔMENO DE RENDIMENTO ESPORTIVO DOS CORREDORES AFRICANOS?

WHICH WOULD EXPLAIN THE FANTASTIC SPORTS YIELD PHENOMENON OF THE AFRICAN RUNNERS?

Rodrigo Luiz Vancini¹, João Bosco Pesquero², Rafael Júlio de Freitas Guina Fachina^{3,4}, Fábio Carderelli Minozzo⁵, Marília dos Santos Andrade¹, João Paulo Borin³, Paulo César Montagner³, Claudio Andre Barbosa de Lira⁶

1-Departamento de Fisiologia, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo - SP, Brasil.

2-Departamento de Biofísica, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo - SP, Brasil.

3-Departamento de Ciência do Esporte, Faculdade de Educação Física (FEF), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brasil

4-Confederação Brasileira de Basquetebol (CBB), Rio de Janeiro, Brasil.

5-Department of Kinesiology and Physical Education, Faculty of Education, McGill University, Canadá.

6-Sector de Fisiologia Humana e do Exercício, Universidade Federal de Goiás (UFG) - Campus Jataí, Jataí - GO, Brasil.

Endereço para correspondência:

Claudio Andre Barbosa de Lira, Ph.D.

Setor de Fisiologia Humana e do Exercício

Universidade Federal de Goiás

Campus Jataí – Unidade Jatobá

Rod. BR 364, km 192, nº 3800, Parque Industrial

Jataí, GO, Brasil. CEP 75801-615

Tel.: +55-64-3606-8301

E-mail: andre.claudio@gmail.com

Submitted for publication: Sep 2012

Accepted for publication: Feb 2013

RESUMO

VANCINI, R. L.; PESQUERO, J. B.; FACHINA, R. J. F. G.; MINOZZO, F. C.; ANDRADE, M. S.; BORIN, J. P.; MONTAGNER, P. C.; LIRA, C. A. B. O que explicaria o fantástico fenômeno de rendimento esportivo dos corredores africanos? *Brazilian Journal of Biomotricity*. v. 7, n. 1, p. 01-13, 2013. Atualmente, um fenômeno interessante capaz de demonstrar a estreita relação entre a genética, o ambiente e o desempenho físico, é a dominância dos corredores africanos (quenianos e etíopes) nas corridas de longa distância. Nesse sentido, alguns fatores (o estilo de vida na infância, a motivação psicológica para o sucesso econômico e social, o tipo de dieta, o tipo de treinamento físico, o biótipo, o perfil fisiológico e bioquímico e o background genético) da intrigante e complexa interação entre o genótipo e fenótipo têm sido propostos na tentativa de



explicar o extraordinário sucesso esportivo dos corredores africanos. Dessa forma, objetivo do presente artigo de atualização é abordar alguns dos fatores responsáveis por esse fenômeno do desempenho atlético no restrito universo dos corredores quenianos e etíopes.

Palavras chave: Genética, Genes, Esporte, Desempenho físico, Corredores quenianos

ABSTRACT

VANCINI, R. L.; PESQUERO, J. B.; FACHINA, R. J. F. G.; MINOZZO, F. C.; ANDRADE, M. S.; BORIN, J. P.; MONTAGNER, P. C.; LIRA, C. A. B. O que explicaria o fantástico fenômeno de rendimento esportivo dos corredores africanos? *Brazilian Journal of Biomotricity*. v. 7, n. 1, p. 01-13, 2013. Currently, an interesting phenomenon that can demonstrate the close relationship between genetics, environment, and physical performance, is the dominance of African runners (Kenyan and Ethiopian) in the long distance running. In this sense, certain factors (childhood lifestyle, psychological motivation for economic and social success, diet type, physical training type, biotype, physiological and biochemical profile, and genetic background) of the intriguing and complex interaction between genotype and phenotype have been proposed in an attempt to explain the extraordinary success of African runners. Thereby, the aim of this article is to discuss some possible factors responsible for this phenomenon of athletic performance in the restricted universe of Kenyan and Ethiopian runners.

Key-words: Genetics, Genes, Sport, Physical performance, Kenyan runners.

INTRODUÇÃO

O excelente desempenho esportivo requer a combinação integrada de múltiplos fatores internos como a genética privilegiada e a idade cronológica; e fatores externos como o ambiente; a nutrição e o treinamento físico adequados; a participação em competições; os aspectos socioculturais e econômicos; a motivação; o gerenciamento da carreira e o suporte científico (SCOTT e PITSILADIS, 2007; WILBER e PITSILADIS, 2012; TUCKER e COLLINS, 2012). Em geral, podemos dizer que há duas categorias de atletas que chegam ao alto nível de rendimento desportivo, os geneticamente talentosos e os que treinam arduamente (SMITH, 2003). Nesse sentido, a genética, o ambiente e a interação entre ambos têm impacto importante sobre o desempenho físico (SCOTT e PITSILADIS, 2007; WILBER e PITSILADIS, 2012; TUCKER e COLLINS, 2012).

Atualmente, a avaliação criteriosa dos pódios de muitas competições desportivas internacionais permitiu revelar que atletas de certos países desfrutam de relativo sucesso em determinados eventos. Um dos exemplos mais emblemáticos e convincentes é o dos corredores africanos nas corridas de longa distância, especialmente os quenianos e os etíopes. De fato, na década de 80 do século passado, o cenário internacional das corridas de média e longa distância mudou dramaticamente. Não faz muito tempo que todas as provas de corrida eram dominadas por atletas europeus (MATTHEWS, 1987). Dos 20 maiores corredores do mundo, dos 800 m à maratona, 48% eram da Europa enquanto que 26% eram da África. Mais recentemente, o percentual de corredores europeus foi reduzido para 11%, enquanto que o de corredores africanos saltou para 85% (LARSEN, 2003). A redução dos corredores europeus na lista dos melhores do mundo não é devido a estes terem diminuído sua velocidade de corrida. O fato é que os corredores africanos estão correndo mais rápido (MATTHEWS, 1987). Para traçar um panorama, os corredores da Etiópia e do Quênia detêm mais de 90% de todos os recordes mundiais e as 10 primeiras posições atuais no ranking dos eventos de abrangência mundial (WILBER e PITSILADIS, 2012).

É interessante observar, no entanto, que a maioria dos corredores de elite quenianos e etíopes provém de subgrupos étnicos localizados dentro de seus próprios países (ONYWERA et al., 2006; WILBER e PITSILADIS, 2012). Grande parte dos corredores quenianos com desempenho excepcional provém de um grupo de oito pequenas tribos chamadas Kalenjin, que compõem um universo de aproximadamente meio milhão de pessoas. Entre estas tribos, é da subtribo dos Nandis que provém os melhores atletas quenianos. De fato, seus membros juntos conquistaram cerca de 50 medalhas Olímpicas nos eventos de média e longa distância (LARSEN, 2003; WILBER e PITSILADIS, 2012). Dessa forma, esse fenômeno de desempenho levou à sugestão de que esses corredores possuem alguma vantagem inerente ao seu potencial genético que,



interagindo com um meio ambiente propício, os predispõe a desempenhos superiores e excepcionais (LARSEN, 2003; SCOTT e PITSILADIS, 2007). Adicionalmente, outros fatores têm sido propostos para explicar o extraordinário sucesso esportivo desses corredores incluindo a alta aptidão cardiorrespiratória, o desenvolvimento de uma boa eficiência metabólica, a composição de fibras musculares, o perfil enzimático, a dieta, o constante treinamento na altitude e os aspectos psicológicos (BOUCHARD et al., 1986; SIMONEAU e BOUCHARD, 1995; SCOTT e PITSILADIS, 2007; WILBER e PITSILADIS, 2012; TUCKER e COLLINS, 2012). Portanto, o objetivo do presente artigo de atualização é discutir alguns possíveis fatores responsáveis por esse fenômeno do desempenho atlético ainda pouco explorado e observado no restrito universo dos corredores africanos de nacionalidade queniana e etíope.

ESTILO DE VIDA NA INFÂNCIA

É interessante observar que os corredores de elite africanos não provêm de cidades, mas sim de pequenas vilas e áreas rurais. Quando se comparou jovens garotos quenianos da tribo Nandi que provinham de cidades com jovens garotos da mesma tribo provindos de áreas rurais, observou-se que os últimos possuíam valores de consumo máximo de oxigênio ($O_2\text{máx}$) 10% mais altos em relação aos garotos provindos da cidade (LARSEN, 2003; LARSEN et al., 2004). Adicionalmente, estudos retrospectivos mostraram que os corredores africanos tinham que correr longas distâncias para ir à escola quando comparados com a população geral (ONYWERA et al., 2006; SCOTT et al., 2003). SALTIN et al., (1995a) verificaram que as crianças quenianas que utilizavam a corrida como o principal meio de transporte possuíam um $O_2\text{máx}$ 30% superior que os que não o fizeram. Resultados semelhantes foram observados na Etiópia, já que 68% dos maratonistas de elite etíopes relataram que tinham utilizado a caminhada e a corrida (5 a 20 km/dia de média total de distância percorrida), como seu principal meio de locomoção para a escola quando eram crianças, em comparação com 24% dos sujeitos controles não atletas (SCOTT et al., 2003).

Esses dados demonstram claramente, que o desenvolvimento e o crescimento num entorno que propicie um estilo de vida favorável, tal como a prática de intensa atividade física no decorrer da infância, possa estar fortemente implicado no sucesso esportivo dos corredores da África nas provas de média e longa distância quando na idade adulta (SCOTT et al., 2003; ONYWERA et al., 2006; WILBER e PITSILADIS, 2012). Em conjunto, estes resultados podem servir para desmistificar que o sucesso dos corredores quenianos possa estar relacionado apenas com uma vantagem genética sobre a aptidão cardiorrespiratória (SCOTT e PITSILADIS, 2007).

MEIO AMBIENTE

Já foi extensivamente demonstrado que o treinamento realizado na altitude, ou seja, treinar e viver no alto e competir ao nível do mar melhora o desempenho esportivo, principalmente nas atividades predominantemente aeróbias (LUNDBY et al., 2012). Nesse sentido, parece que os corredores de elite, etíopes e quenianos, têm a capacidade inata de treinar numa intensidade relativamente alta, ou seja, numa velocidade muito próxima à velocidade do $O_2\text{máx}$ ($v O_2\text{máx}$) apesar das limitações impostas aos seres humanos durante a prática de exercício físico na altitude, que é o caso da Etiópia e do Quênia (~ 2000 a 2500 m acima do nível do mar - Leste da África). Assim, parece que a habilidade de treinar de forma efetiva na altitude, em alta intensidade, é uma característica que distingue os corredores de nível Olímpico, quenianos e etíopes, dos seus pares europeus, americanos e asiáticos (WILBER e PITSILADIS, 2012).

Na verdade, os quenianos se sentem ofendidos quando alguém atribui que seu sucesso esportivo é apenas ao fato de treinarem na altitude. Como observado pelo treinador queniano Mike Kosgei: "Se o sucesso nas provas de corrida fosse apenas relacionado ao fato de residir e treinar na altitude, então porque na Colômbia e no Nepal não se produz grandes corredores como no Quênia? Nosso sucesso é pautado em muito trabalho e atitude e não só na altitude" (TANSER, 1997). Independentemente disso, parece lógico supor que a residência e o treinamento na altitude podem ter relação com o excepcional desempenho dos corredores etíopes e quenianos (WILBER

e PITSILADIS, 2012) já que esse fator, por si só, pode favorecer o aumento da concentração total de hemoglobina (PROMMER et al., 2010).

MOTIVAÇÃO PSICOLÓGICA PARA ATINGIR O SUCESSO ECONÔMICO E SOCIAL

É inegável que o sucesso em competições esportivas tem uma forte participação psicológica, que é representada por resistência mental, astúcia tática e motivação para suportar a dor durante o treinamento e a competição e a capacidade de superar desafios e obstáculos, com o objetivo de alcançar o sucesso esportivo e na vida (LIPPI et al., 2010; WILBER e PITSILADIS, 2012). Embora tenham avançado em muitas áreas sociais, o Quênia e a Etiópia ainda tem uma taxa de desemprego de aproximadamente 40% e 35%, respectivamente, com aproximadamente 50% e 39% da população vivendo abaixo da linha de pobreza de acordo com os critérios da Organização Mundial da Saúde (OMS), respectivamente (WILBER e PITSILADIS, 2012).

Ser um corredor bem sucedido no Quênia e na Etiópia pode se traduzir em avanço econômico e social para o atleta e, conseqüentemente, para a família do mesmo. O que nutre essa motivação para o sucesso econômico e social é a “tradição de excelência esportiva” que conecta os atuais corredores de longa distância quenianos e etíopes com os seus lendários antecessores, como por exemplo, Paul Tergat e Kenenisa Bekele, respectivamente (WILBER e PITSILADIS, 2012). Haile Gebrselassie, um dos corredores etíopes de projeção mundial e Olímpica, afirmou: “Temos muito em que nos inspirar e espelhar. Queremos ser como os grandes atletas de nossa história esportiva. Eles nos deram uma razão para sonhar e ter esperança. Eles são nossos modelos. Vemos neles algo que desperta a nossa imaginação e nos encoraja a mudar nossas vidas para melhor” (DENISON, 2004).

Dessa forma, o sucesso esportivo nas provas de longa distância fornece aos atletas meios para ascender social e economicamente, o que serve de importante motivação psicológica e emocional para essas pessoas (WILBER e PITSILADIS, 2012). Onywera et al. (2006) observaram que entre os corredores de elite quenianos nas provas de longa distância, 33% apontaram que o sucesso financeiro é a principal razão para competirem. Essa resposta foi marcadamente superior que a de outros potenciais fatores motivacionais, para treinar e competir, como a “tradição competitiva” e o talento para o esporte apontado por 18% e 18%, respectivamente, e a “Glória Olímpica” apontada por apenas 14%, dos corredores elite quenianos.

FATORES NUTRICIONAIS

A nutrição de qualidade e específica para a atividade praticada tem papel essencial no rendimento esportivo de alto nível. É interessante observar que a dieta da população do Quênia e da Etiópia tem baixo teor de gordura e é rica em carboidratos, e vem sendo consumida pelas pessoas desses dois países por séculos. Essa dieta rica em carboidratos também é consumida pelos corredores quenianos (10% de proteínas, 13% de gorduras e 77% de carboidratos) como verificado por Onywera et al. (2004) e etíopes (13% de proteínas, 23 % de gorduras e 64% de carboidratos) como verificado por Beis et al. (2011). Coincidentemente, a composição dessa dieta está de acordo com as recentes recomendações nutricionais propostas para os atletas de provas de resistência aeróbia (ACSM, 2009). Entretanto, embora a composição da dieta dos corredores quenianos e etíopes se mostre favorável para explicar o desempenho superior nas provas de média e longa distância, ela não é expressivamente diferente da dieta utilizada pela maioria de seus concorrentes europeus, americanos ou asiáticos e, portanto, provavelmente, não confere qualquer expressiva vantagem competitiva (WILBER e PITSILADIS, 2012).

TREINAMENTO FÍSICO

Os corredores africanos, particularmente os quenianos, executam um volume de treinamento de até 150 km/semana durante os meses que antecedem os campeonatos mundiais de corrida cross-country (ABMAYR e KOSGEI, 1991). Além disso, os mesmos fazem treinamento intervalado de



alta intensidade no período preparatório para essas provas. A resposta do porque estes corredores treinam com altos volumes para corridas desta distância utilizando o método de treinamento intervalado de alta intensidade, pode ser pelo fato de que a recuperação após a realização de exercícios intermitentes de alta intensidade é mais eficiente em atletas com alta capacidade e resistência aeróbias (TOMLIN e WENGER, 2001) que são adquiridas com altos volumes de treinamento. Além disso, o nível de treinabilidade dos corredores africanos se mostra superior, pois estes podem ficar meses sem treinar de forma intensa e regular, mas dentro de poucos meses, podem retornar aos treinamentos visando o alto desempenho e alcançarem marcas significativas a nível mundial (LARSEN, 2003). Isto poderia ser explicado pela responsividade ao treinamento físico destes corredores quando comparados com corredores de outras nacionalidades (BOUCHARD et al., 1992; WILBER e PITSILADIS, 2012).

SOMATOTIPO

Os estudos clássicos de locomoção humana verificaram que o trabalho realizado pelos membros em movimento consiste numa parte substancial do custo metabólico da corrida, já que a adição de poucas gramas de peso nos pés ou tornozelos promoveria aumento da taxa metabólica (CAVAGNA et al., 1964). Hipoteticamente, a melhor economia de corrida dos corredores africanos pode estar relacionada com o fato dos mesmos apresentarem membros magros permitindo-os correr com um custo energético menor durante a corrida (LARSEN, 2003; WILBER e PITSILADIS, 2012).

Outro fator que pode favorecer o melhor desempenho dos corredores de elite africanos é o biótipo. Estes são ectomórficos e longilíneos quando comparados a corredores de elite caucasianos (SALTIN et al., 1995a; WILBER e PITSILADIS, 2012). Larsen et al. (2004) estudaram adolescentes quenianos do sexo masculino não treinados e verificaram que estes apresentam baixa massa corporal e pernas relativamente longas quando comparados com a maioria dos adolescentes de idade similar de outros continentes e nacionalidades. Já os etíopes, ao contrário, em geral são mais mesomórficos e apresentam características físicas que refletem mais o Norte da África, incluindo alguns traços físicos europeus e do Oriente Médio. Os corredores etíopes, em geral, apresentam uma pele mais clara que os quenianos, são menores, e têm maior circunferência da coxa. No entanto, há fortes evidências científicas que sustentam que o típico somatotipo ectomórfico dos corredores quenianos permite que eles tenham uma melhor eficiência biomecânica e metabólica do que seus adversários (WILBER e PITSILADIS, 2012), o que poderia explicar, mas não isoladamente, seu sucesso esportivo nas provas de corrida.

FATORES FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS

O desempenho nas corridas de longa distância requer a combinação de alta potência aeróbia e de utilização de alta fração do $\dot{V}O_2\text{máx}$ durante a competição e uma boa economia de corrida (LARSEN, 2003; COYLE, 2007; WILBER e PITSILADIS, 2012). No caso de atletas de alto nível que possuem pequena variação no $\dot{V}O_2\text{máx}$, a economia de corrida e a alta fração sustentável de utilização do $\dot{V}O_2\text{máx}$ são fatores mais importantes e melhores preditores do desempenho físico e sucesso esportivo (MAUGHAN e LEIPER, 1983; COYLE, 2007) do que ter simplesmente um alto $\dot{V}O_2\text{máx}$ (CONLEY e KRAHENBUHL, 1980; COYLE, 2007). De fato, quando se comparou o $\dot{V}O_2\text{máx}$ de corredores quenianos com atletas que não possuem ascendência africana (SALTIN et al., 1995a) foi observado que os corredores de elite quenianos das provas de longa distância possuem um alto $\dot{V}O_2\text{máx}$ (~79,9 ml/kg/min), porém não é maior do que o observado em corredores de elite escandinavos (~79,2 ml/kg/min) (LARSEN, 2003) e/ou corredores de elite americanos (~80 ml/kg/min) (POLLOCK, 1977). No entanto, apesar da similaridade, ainda sim, os corredores quenianos apresentam valor médio para o tempo dos 10 km dois minutos inferior (28min e 29s) do que os seus pares alemães (30min e 39s) (PROMMER et al., 2010). Além disso, apesar da similaridade dos valores de $\dot{V}O_2\text{máx}$ entre os corredores africanos e caucasianos é interessante observar que os primeiros podem correr uma meia maratona em 62min e 39s com



um valor médio de O₂ relativamente mais baixo (LARSEN, 2003), ou seja, os mesmos apresentam uma melhor economia de corrida.

A velocidade de corrida na qual o lactato sanguíneo começa a se acumular tem sido uma ferramenta útil para o prognóstico do desempenho nas provas de resistência aeróbia (SJÖDIN e JACOBC, 1981). De fato, a concentração de lactato sanguíneo em resposta ao exercício submáximo é um bom preditor do desempenho nas corridas de longa distância, refletindo a resposta metabólica local dos músculos em atividade. Os corredores de elite africanos apresentam mais baixa concentração de lactato sanguíneo tanto no exercício realizado na altitude como no exercício realizado ao nível do mar, quando comparados a corredores de outras nacionalidades, sendo esta diferença mais pronunciada em intensidades mais elevadas de exercício físico (LARSEN, 2003). Weston et al. (2000) demonstraram que os corredores negros da África do Sul acumulam lactato numa taxa mais lenta com o aumento da intensidade do exercício, quando comparados a outros corredores. Com o acúmulo de lactato sanguíneo, a concentração de amônia também aumenta. É interessante observar que este efeito é verdadeiro para os corredores africanos apenas em intensidades muito altas de exercício físico (SALTIN et al., 1995b). Porém, o estudo sobre a concentração de amônia sanguínea é um campo que precisa ser mais bem explorado, já que pode elucidar os mecanismos de regulação metabólica dos músculos dos corredores africanos por sua relação com a fadiga, tanto periférica, quanto central (LARSEN, 2003).

Atletas de elite negros, quando comparados a corredores caucasianos da África do Sul, são capazes de correr numa fração mais alta de utilização do O₂máx durante a corrida de 10 km e a maratona (WESTON et al., 2000). O que pode explicar a superioridade em exercitar-se em altas frações de utilização do O₂máx é o percentual ou a proporção de fibras do tipo I, pois esta pode ser um indicador de treinabilidade da musculatura para as corridas de longa distância (SJÖDIN e JACOBC, 1981; SIMONEAU e BOUCHARD, 1995). Porém, foi demonstrado que existe similaridade entre o percentual de fibras musculares nos corredores de elite quenianos e escandinavos (SALTIN et al., 1995b), como também surpreendentemente entre os corredores de longa distância negros e sedentários caucasianos (SIMONEAU e BOUCHARD, 1989).

Outro fator a ser levado em consideração é a capacidade enzimática muscular mitocondrial, a qual está diretamente ligada ao metabolismo de substratos durante o exercício físico. Quanto maior a densidade mitocondrial, maior é o consumo muscular de lipídios durante o exercício físico (HENRIKSSON, 1977). Em tese, o nível de lactato sanguíneo é mais baixo para uma dada carga de trabalho, quanto mais alta é a atividade das enzimas oxidativas (IVY et al., 1980). Deste modo, existe uma ligação direta entre o potencial oxidativo dos músculos envolvidos na corrida e o nível de desempenho físico, assim como uma velocidade de corrida é mais alta antes da concentração de lactato sanguíneo começar a subir (SJÖDIN e JACOBS, 1981). De fato, Evertsen et al. (1999) mostraram uma correlação positiva entre as enzimas oxidativas citrato sintase, succinato desidrogenase e glicerol-3 fosfato desidrogenase e o desempenho na corrida. Weston et al. (2000) também encontraram correlação positiva entre a atividade da citrato sintase e o tempo de exaustão na corrida. Entretanto, quando comparou-se a atividade da enzima citrato sintase de corredores de elite quenianos e escandinavos não foram encontradas diferenças estatisticamente expressivas (SALTIN et al., 1995b).

FATORES GENÉTICOS

Toda a variação nas características humanas (ou fenotípicas) resulta da interação entre o genótipo de um único indivíduo e os estímulos ambientais. A hereditariedade (H²) é definida como a proporção da variação fenotípica numa população atribuída à variação genética entre os indivíduos e de forma simples pode ser representada por: $H^2 = \text{Variação (genótipo)}/\text{Variação (fenótipo)}$. Isso vale não apenas para os fenótipos desportivos, mas também se aplica aos estados de saúde e doença (PUTHUCHEARY et al., 2011).

Uma vasta gama de fenótipos humanos, por exemplo, a força muscular, a estrutura óssea, a elasticidade dos tendões e o tamanho do coração e pulmão, influencia o desempenho desportivo,



cada um em si sendo o resultado de uma complexa interação entre sistemas anatômicos, bioquímicos e fisiológicos (SMITH, 2003). Por sua vez, cada um destes fenótipos será influenciado por um grande número de genes, ou seja, quanto mais amplo o fenótipo, maior o número de genes relevantes no processo (PUTHUCHEARY et al., 2011). A maioria destes genótipos preferíveis e favoráveis à prática esportiva não são muito comuns, e sua combinação ainda mais rara (TUCKER e COLLINS, 2012). Em teoria, as chances de um indivíduo ter um genótipo desportivo perfeito são muito mais baixas do que uma em 20 milhões, ou seja, conforme ocorre o aumento do número de polimorfismos associados às probabilidades diminuem proporcionalmente (PUTHUCHEARY et al., 2011; WILBER e PITSILADIS, 2012).

Até recentemente, nenhum estudo havia investigado diretamente a participação da genética sobre o desempenho superior nas corridas de longa distância dos corredores africanos. Os estudos iniciais investigaram o DNA mitocondrial (DNAMt), um tipo de DNA que se localiza na mitocôndria e o cromossomo Y (responsável pela determinação do gênero) de atletas de elite etíopes e quenianos (SCOTT et al., 2005a; SCOTT et al., 2009) em relação à população geral para permitir estudar as origens ancestrais dos atletas de elite da África. Sugere-se que os polimorfismos no DNAMt influenciariam a variação no desempenho aeróbio em humanos, já que o mesmo codifica diferentes subunidades de complexos enzimáticos da fosforilação oxidativa (SCOTT et al., 2005a).

O DNAMt é uma herança genética totalmente herdada da mãe, oferecendo uma oportunidade única de explorar a linha materna de grupos seletos, só mudando à medida que surgem novas mutações que resultam no acúmulo de mutações de diferentes ramos da descendência de um único ancestral (ATKINSON et al., 2009). Dessa forma, é possível criar a filogenia (determinar as relações ancestrais entre espécies e indivíduos) detalhada para explorar o grau de parentesco da linhagem materna das pessoas além dos fenótipos de interesse (WILBER e PITSILADIS, 2012). Cada ramo da árvore filogenética é conhecido como um haplogrupo (séries de alelos em lugares específicos de um cromossomo). Adicionalmente, o agrupamento de haplótipos específicos gera unidades facilmente comparáveis de informação genealógica que fornecem níveis úteis de previsibilidade. Quando encontrados em outras partes do mundo, os haplogrupos podem ser usados como indicadores de migrações recentes (SALAS et al., 2002).

Recentemente, foi realizada uma análise do DNAMt de coortes (conjunto de pessoas que tem em comum um evento que se deu no mesmo período) de corredores de elite quenianos e etíopes. Ao contrário que se pensava, esses corredores não se apresentavam restritos a uma única área da árvore filogenética. Os atletas revelaram uma ampla distribuição de haplogrupos semelhante à população geral do Quênia e da Etiópia, o que não sustentou a ideia de um papel para as variantes do DNAMt para o sucesso dos atletas da África Oriental nas provas de resistência aeróbia. Isto também contrastou com a ideia de que estes corredores de elite são um grupo geneticamente privilegiado, pelo menos com relação ao DNAMt. De fato, alguns dos atletas etíopes compartilham um ancestral comum mais recente do DNAMt com muitos europeus. Resultados semelhantes também foram observados entre os corredores de elite quenianos (SCOTT et al., 2005a; SCOTT et al., 2009). Estes achados não confirmam a hipótese de que a população da Etiópia e do Quênia, a partir da qual os atletas provêm, manteve-se geneticamente isolada no Leste da África, mas mostra que eles têm sido submetidos a eventos de migração durante a "idade da espécie humana", estimada entre 150.000 e 250.000 anos atrás, com base em estudos de DNAMt (SCOTT et al., 2009; WILBER e PITSILADIS, 2012).

Os achados anteriores ainda foram sustentados quando da análise do cromossomo Y nos atletas de elite etíopes. Nesse sentido, o cromossomo Y pode ser considerado como o equivalente masculino do DNAMt. Apesar de atletas de elite possuírem a mesma variação de haplogrupos do cromossomo Y, como está presente na população geral, alguns foram significativamente mais frequentes nos atletas. Recentemente, essas frequências de haplogrupos foram avaliadas num estudo realizado no Quênia (ONYWERA et al., 2006). Se os mesmos haplogrupos estivessem sub- ou sobre- representados, isto forneceria fortes evidências para um efeito biológico do cromossomo Y no desempenho da corrida. No entanto, apesar da descoberta de um potencial efeito do cromossomo Y sobre o desempenho nas provas de resistência aeróbia, os resultados mostraram níveis de diversidade semelhantes àqueles encontrados nos estudos de DNAMt, refletindo que um número significativo dos atletas geneticamente rastreados tem parte da sua



ascendência masculina obtida fora da África. Coletivamente, os resultados dos estudos do cromossomo Y e DNAmT não fornecem qualquer evidência genética que sustente a influência das diferenças étnicas no desempenho esportivo (ONYWERA et al., 2006; WILBER e PITSILADIS, 2012).

Adicionalmente, alguns estudos tentaram descobrir, em coortes de sujeitos do leste africano, um gene candidato para explicar o fenômeno de desempenho esportivo nas corridas de média e longa distância. Para a aplicação dessa metodologia, foi estabelecida uma hipótese de que os polimorfismos genéticos de interesse são as variantes causais ou estão em consistente desequilíbrio de ligação com uma variante causal. No entanto, apenas dois genes candidatos foram investigados na tentativa de explicar esse fenômeno de desempenho humano em atletas do Leste da África. Os dois genes avaliados foram o gene da enzima conversora de angiotensina (ECA) e da alfa-actinina-3 (ACTN3) (SCOTT et al., 2005a; SCOTT et al., 2005b; YANG et al., 2007; ASH et al., 2011; WILBER e PITSILADIS, 2012).

No que se refere ao gene da ECA um polimorfismo de inserção (I) está associado com níveis mais baixos de ECA do que a deleção (D). Em geral, o alelo I, desse gene, tem sido associado com o desempenho nas provas de resistência aeróbia (SCOTT et al., 2005b) e o alelo D com o desempenho nas provas de potência (WILBER e PITSILADIS, 2012). Curiosamente, o alelo I também tem sido relacionado com a tolerância à altitude tornando-se um gene candidato ideal para se investigar nos atletas do Leste da África, dada a possibilidade de que o treinamento e o fato de viver constantemente na altitude poderiam, parcialmente, explicar seu sucesso esportivo (MONTGOMERY et al., 1998; ONYWERA et al., 2006; RANKINEN et al., 2006). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas nas frequências dos alelos I/D entre os atletas quenianos e etíopes e a população geral de suas respectivas localidades. Nesse sentido, diferentes níveis de desequilíbrio de ligação (associação não randômica dos alelos) em africanos e caucasianos significava que a adição de uma variante potencialmente causal (genótipo A22982G) deveria ser testada. No entanto, não houve diferenças significativas nas frequências do genótipo A22982G entre os atletas quenianos e etíopes e a população geral (SCOTT et al., 2005b; ASH et al., 2011). De fato, 29% dos voluntários do grupo controle e apenas 17% dos atletas quenianos de nível internacional possuíam o genótipo “AA” (sempre encontrado em combinação com “II” em caucasianos), o que é supostamente vantajoso para o desempenho nas provas de resistência aeróbia. Enquanto a controvérsia sobre a influência do genótipo da ECA no desempenho nas provas de resistência aeróbia continua, não há sustentação científica do papel da variação no gene da ECA que explique o fenômeno de sucesso esportivo nas corridas de longa distância dos atletas africanos (WILBER e PITSILADIS, 2012).

Outro gene candidato que vem sendo estudado em corredores de elite da África é o gene da ACTN3 (YANG et al., 2007). Este gene também tem sido associado com o desempenho físico de alto nível e vem sendo encontrado com frequências amplamente diversas em diferentes populações (MILLS et al., 2001). Particularmente, foi encontrada associação entre a variante do gene ACTN3 chamada R577X e o status de atleta de elite (AHMETOV et al., 2010) em populações australianas brancas, com a deficiência do genótipo ACTN3 XX estando presente numa frequência mais baixa em atletas de sprint e potência e ligeiramente maior em atletas de elite especialistas em provas de resistência aeróbia, em relação ao grupo controle (YANG et al., 2003). No entanto, não houve evidência para uma possível associação entre o polimorfismo R577X e o desempenho nas provas de resistência aeróbia dos corredores do Leste da África (YANG et al., 2007), o que sugere que a deficiência em ACTN3 não é determinante para o sucesso esportivo observado entre os corredores africanos (WILBER e PITSILADIS, 2012).

Em resumo, a avaliação de dois dos principais genes candidatos na tentativa de explicar o excepcional fenômeno de desempenho físico observado entre os corredores africanos não demonstrou que esse é o principal fator pelo sucesso nas provas de corrida. Entretanto, outros estudos precisam investigar a frequência de variantes de outros genes nucleares candidatos nessas coortes únicas que são os atletas africanos. Além disso, a pesquisa nessa área está caminhando e migrando para a “Era da Genômica”, ou seja, o estudo simultâneo de múltiplos genes bem como do “Genoma Completo” dos indivíduos e não apenas de genes candidatos únicos que possam explicar o sucesso esportivo (ONYWERA et al., 2006; RANKINEN et al., 2006;

WILBER e PITSILADIS, 2012; TUCKER e COLLINS, 2012), o que pode auxiliar na compreensão desse intrigante fenômeno.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fantásticas conquistas esportivas de certas populações com toda certeza são o resultado de uma combinação multifatorial bem sucedida. É improvável, portanto, que o sucesso dos atletas de elite de diferentes modalidades seja consequência apenas de características genéticas (PITSILADIS, SCOTT, 2005; TUCKER e COLLINS, 2012), pois o funcionamento orgânico final é o resultado da interação de múltiplos fatores genéticos com os inúmeros estímulos ambientais a que estamos expostos diariamente. A questão a ser respondida é: o que faz os corredores africanos, particularmente os quenianos e etíopes, os melhores do mundo? Os fatores a serem considerados para futuras investigações são: a combinação entre os aspectos genéticos, o meio ambiente e o entorno favoráveis, o estilo de vida na infância, o biotipo corporal, o tipo de treinamento, a dieta adequada, o fato de treinarem e viverem na altitude, os aspectos psicológicos e a possibilidade de ascensão econômica e social através do esporte. Como mostrado na tabela 1, os fatores a serem ponderados para se obter um denominador comum que represente o melhor desempenho esportivo são muitos, podendo-se considerar a combinação entre os aspectos genéticos, o meio ambiente e o entorno favoráveis, o estilo de vida na infância, o biotipo corporal, o tipo de treinamento, a dieta adequada, o fato de treinarem e viverem na altitude, os aspectos motivacionais e a possibilidade de ascensão econômica e social através do esporte.

Tabela 1 - Resumo dos principais e possíveis fatores responsáveis pelo desempenho observado nas provas de corrida entre os corredores quenianos e etíopes.

Fatores	Resultados principais	Autores
Estilo de vida na infância	Crianças quenianas e etíopes utilizam-se de longas caminhadas e corrida como seu principal meio de transporte na infância.	Saltin et al (1995a) e Scott et al (2003)
Meio ambiente	Corredores quenianos e etíopes realizam diariamente treinamento na altitude (treinar e viver no alto e competir ao nível do mar melhora o desempenho esportivo nas atividades predominantemente aeróbias).	Lundby et al (2012) e Wilber e Pitsiladis (2012)
Motivação psicológica para o sucesso econômico e social	Se tornar um corredor de sucesso no Quênia e na Etiópia pode significar em avanço econômico e social para o atleta e a sua família. Além disso, o que nutre a motivação para o sucesso é a "tradição de excelência esportiva" nas provas de corrida.	Onywera et al (2006) e Wilber e Pitsiladis (2012)
Nutricionais	Tipo da dieta queniana e etíope (baixo teor de gordura e rica em carboidratos). Esta dieta está de acordo com as recomendações nutricionais para atletas de provas de resistência aeróbia.	Onywera et al (2004), Beis et al (2011) e ACSM (2009)
Treinamento físico	Corredores quenianos e etíopes realizam altos volumes de treinamento e treinamento intervalado intensivo no período preparatório das competições. Isso pode favorecer a recuperação entre os estímulos de treinamento físico. Além disso, têm níveis de treinabilidade e responsividade ao treinamento físico superiores comparados a corredores de outras nacionalidades.	Bouchard et al (1992) e Tomlin e Wenger (2001)
Somatotipo	Corredores quenianos e etíopes apresentam	Larsen (2003) e



	composição corporal e biótipo favoráveis para o desempenho superior nas provas de corrida o que pode conduzir a uma melhor economia de corrida e conseqüentemente menor custo energético.	Wilber e Pitsiladis (2012)
Fisiológicos	Corredores quenianos e etíopes apresentam alta potência aeróbia e de utilização da fração do $\dot{V}O_2$ máx durante a competição e uma boa economia de corrida.	Larsen (2003) e Coyle (2007)
Bioquímicos	Corredores quenianos e etíopes apresentam maior capacidade enzimática o que favoreceria o desempenho nas provas predominantemente aeróbias.	Saltin et al (1995b)
Genéticos	Corredores quenianos e etíopes apresentam uma genética privilegiada (DNAMt, cromossomo Y, gene da ECA e gene da ACTN3).	Onywera et al (2006) e Wilber e Pitsiladis (2012)

REFERÊNCIAS

- ABMAYR, W.; KOSGEI, M. Kenya cross country training. *Track Field Quart Rev*, v. 91, p. 45-47, 1991.
- AHMETOV, I.I.; DRUZHEVSKAYA, A.M.; ASTRATENKOVA, I.V.; POPOV, D.V.; VINOGRADOVA, O.L.; ROGOZKIN, V.A. The ACTN3 R577X polymorphism in Russian endurance athletes. *British Journal of Sports Medicine*, v. 44, p. 649-652, 2010.
- AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (ACSM); AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION; DIETITIANS OF CANADA; RODRIGUEZ, N.R.; DI MARCO, N.M.; LANGLEY, S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 41, p. 709-731, 2009.
- ASH, G.I.; SCOTT, R.A.; DEASON, M.; DAWSON, T.A.; WOLDE, B.; BEKELE, Z.; TEKA, S.; PITSILADIS, Y.P. No association between ACE gene variation and endurance athlete status in Ethiopians. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 43, p. 590-597, 2011.
- ATKINSON, Q.D.; GRAY, R.D.; DRUMMOND, A.J. Bayesian coalescent inference of major human mitochondrial DNA haplogroup expansions in Africa. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 276, p. 367-373, 2009
- BEIS, L.Y.; WILLKOMM, L.; ROSS, R.; BEKELE, Z.; WOLDE, B.; FUDGE, B.; PITSILADIS, Y.P. Food and macronutrient intake of elite Ethiopian distance runners. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 8:7, 2011.
- BOUCHARD, C.; DIONNE, F.T.; SIMONEAU, J.A.; BOULAY, M.R. Genetics of aerobic and anaerobic performances. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, v. 20, p. 27-58, 1992.
- BOUCHARD, C.; SIMONEAU, J.A.; LORTIE, G.; BOULAY, M.R.; MARCOTTE, M.; THIBAUT, M.C. Genetic effects in human skeletal muscle fiber type distribution and enzyme activities. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, v. 64, p. 1245-1251, 1986.
- CAVAGNA, G.A.; SAIBENE, F.P.; MARGARIA, R. Mechanical work in running. *Journal of Applied Physiology*, v. 19, p. 249-256, 1964.
- CONLEY, D.L.; KRAHENBUHL, G.S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 12, p. 357-360, 1980.
- COSTILL, D.L.; BRANAM, G.; EDDY, D.; SPARKS, K. Determinants of Marathon running success. *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie*, v. 29, p. 249-254, 1971.
- COYLE, E.F. Physiological regulation of marathon performance. *Sports Medicine*, v. 37, p. 306-311, 2007.



- DENISON, J. A time to run. In Denison J (Editor), *The Greatest: The Haile Gebrselassie Story*. Halcottsville, NY: Breakaway Books; 2004. P 41–48.
- ELFERINK-GEMSER, M.T.; JORDET, G.; COELHO-E-SILVA, M.J.; VISSCHER, C. The marvels of elite sports: how to get there? *British Journal of Sports Medicine*, v. 45, p. 683-684, 2011.
- ERICSSON, K.A.; NANDAGOPAL, K.; RORING, R.W. Toward a science of exceptional achievement: attaining superior performance through deliberate practice. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1172, p. 199-217, 2009.
- EVERTSEN, F.; MEDBO, J.I.; JEBENS, E.; GJOVAAG, T.F. Effect of training on the activity of five muscle enzymes studied on elite cross-country skiers. *Acta Physiologica Scandinavica*, v. 167, p. 247-257, 1999.
- FOURNIER, M.; RICCI, J.; TAYLOR, A.W.; FERGUSON, R.J.; MONTPETIT, R.R.; CHAITMAN, B.R. Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: sprint and endurance training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 14, p. 453-456, 1982.
- HENRIKSSON, J. Training induced adaptation of skeletal muscle and metabolism during submaximal exercise. *Journal of Physiology*, v. 270, p. 661-675, 1977.
- IVY, J.L.; WITHERS, R.T.; VAN HANDEL, P.J.; ELGER, D.H.; COSTILL, D.L. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *Journal of Applied Physiology*, v. 48, p. 523-527, 1980.
- LARSEN, H.B.; CHRISTENSEN, D.L.; NOLAN, T.; SØNDERGAARD, H. Body dimensions, exercise capacity and physical activity level of adolescent Nandi boys in western Kenya. *Annals of Human Biology*, v. 31, p. 159-173, 2004.
- LARSEN, H.B. Kenyan dominance in distance running. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular e Integrative Physiology*, v. 136, p. 161-170, 2003.
- LIPPI, G.; LONGO, U.G.; MAFFULLI, N. Genetics and sports. *British Medical Bulletin*, v. 93, p. 27-47, 2010.
- LUNDBY, C.; MILLET, G.P.; CALBET, J.A.; BÄRTSCH, P.; SUBUDHI, A.W. Does 'altitude training' increase exercise performance in elite athletes? *British Journal of Sports Medicine*. Jul 14, 2012.
- MATTHEWS, P. World and continental records. In: *Athletics'87. International track and field annual*. London and international publishers Ltd, London and Simon and Schuster Ltd, London, p. 249-266, 1987.
- MAUGHAN RJ, LEIPER JB. Aerobic capacity and fractional utilisation of aerobic capacity in elite and non-elite male and female marathon runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 52, p. 80-87, 1983.
- MILLS, M.; YANG, N.; WEINBERGER, R.; VANDER WOUDE, D.L.; BEGGS, A.H.; EASTEAL, S.; NORTH, K. Differential expression of the actin-binding proteins, alpha-actinin-2 and -3, in different species: implications for the evolution of functional redundancy. *Human Molecular Genetics*, v. 10, p. 1335-1346, 2001.
- MONTGOMERY, H.E.; MARSHALL, R.; HEMINGWAY, H.; MYERSON, S; CLARKSON, P.; DOLLERY, C.; HAYWARD, M.; HOLLIMAN, D.E.; JUBB, M.; WORLD, M.; THOMAS, E.L.; BRYNES, A.E.; SAEED, N.; BARNARD, M.; BELL, J.D.; PRASAD, K.; RAYSON, M.; TALMUD, P.J.; HUMPHRIES, S.E. Human gene for physical performance. *Nature*, v. 393, p. 221-222, 1998.
- ONYWERA, V.O.; KIPLAMAI, F.K.; BOIT; M.K.; PITSILADIS, Y.P. Food and macronutrient intake of elite kenyan distance runners. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, v. 14, p. 709-719, 2004.
- ONYWERA, V.O.; SCOTT, R.A.; BOIT, M.K.; PITSILADIS, Y.P. Demographic characteristics of elite Kenyan endurance runners. *Journal of Sports Sciences*, v. 24, p. 415-422, 2006.
- PITSILADIS, Y.P.; SCOTT, R. Essay: The makings of the perfect athlete. *Lancet*, v. 366, p. S16-17, 2005.

- POLLOCK, M.L. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I:Cardiorespiratory aspects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 301, p. 310-322, 1977.
- PROMMER, N.; THOMA, S.; QUECKE, L.; GUTEKUNST, T.; VÖLZKE, C.; WACHSMUTH, N.; NIESS, A.M.; SCHMIDT, W. Total hemoglobin mass and blood volume of elite Kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 42, p. 791-797, 2010.
- PUTHUCHEARY, Z.; SKIPWORTH, J.R.; RAWAL, J.; LOOSEMORE, M.; VAN SOMEREN, K.; MONTGOMERY, H.E. Genetic influences in sport and physical performance. *Sports Medicine*, v. 41, p. 845-859, 2011.
- RANKINEN, T.; BRAY, M.S.; HAGBERG, J.M.; PÉRUSSE, L.; ROTH, S.M.; WOLFARTH, B.; BOUCHARD, C. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes; the 2005 update. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 38, p. 1863-1888, 2006.
- SALAS, A.; RICHARDS, M.; DE LA FE, T.; LAREU, M.V.; SOBRINO, B.; SÁNCHEZ-DIZ, P.; MACAULAY, V.; CARRACEDO, A. The making of the African mtDNA landscape. *American Journal of Human Genetics*, v. 71, p. 1082-1111, 2002.
- SALTIN, B.; KIM, C.K.; TERRADOS, N.; LARSEN, H.; SVEDENHAG, J.; ROLF, C.J. Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, v. 5, p. 222-230, 1995b.
- SALTIN, B.; LARSEN, H.; TERRADOS, N.; BANGSBO, J.; BAK, T.; KIM, C.K.; SVEDENHAG, J.; ROLF, C.J. Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, v. 5, p. 209-221, 1995a.
- SCOTT, R.A.; FUKU, N.; ONYWERA, V.O.; BOIT, M.; WILSON, R.H.; TANAKA, M.H.; GOODWIN, W.; PITSILADIS, Y.P. Mitochondrial haplogroups associated with elite Kenyan athlete status. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 41, p. 123-128, 2009.
- SCOTT, R.A.; GEORGIADES, E.; WILSON, R.H.; GOODWIN, W.H.; WOLDE, B.; PITSILADIS, Y.P. Demographic characteristics of elite Ethiopian endurance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 35, p. 1727-1732, 2003.
- SCOTT, R.A.; MORAN, C.; WILSON, R.H.; ONYWERA, V.; BOIT, M.K.; GOODWIN, W.H.; GOHLKE, P.; PAYNE, J.; MONTGOMERY, H.; PITSILADIS, Y.P. No association between angiotensin converting enzyme (ACE) gene variation and endurance athlete status in Kenyans. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 141, p. 169-175, 2005b.
- SCOTT, R.A.; PITSILADIS, Y.P. Genotypes and Distance Running Clues from Africa. *Sports Medicine*, v. 37, p. 424-427, 2007.
- SCOTT, R.A.; WILSON, R.H.; GOODWIN, W.H.; MORAN, C.N.; GEORGIADES, E.; WOLDE, B.; PITSILADIS, Y.P. Mitochondrial DNA lineages of elite Ethiopian athletes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, v. 140, p. 497-503, 2005a.
- SIMONEAU J.A.; BOUCHARD, C. Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle. *FASEB Journal*, v. 9, p. 1091-1095, 1995.
- SIMONEAU, J.A.; BOUCHARD, C. Human variation in skeletal muscle fiber-type proportion and enzyme activities. *American Journal of Physiology*, v. 257, p. 567-572, 1989.
- SJÖDIN, B.; JACOBS, I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*, v. 2, p. 23-26, 1981.
- SMITH, D.J. A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Medicine*, v. 33, p. 1103-1126, 2003.

- TANSER, T. Kenyan running success: some roots and reasons. In: Tanser T (Editor). *Train Hard, Win Easy*. Mountain View, CA: Track and Field News Press, p. 74–80, 1997.
- TOMLIN, D.L.; WENGER, H.A. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine*, v. 31, p. 1-11, 2001.
- TUCKER, R.; COLLINS, M. What makes champions? A review of the relative contribution of genes and training to sporting success. *British Journal of Sports Medicine*, v. 46, p. 555-561, 2012.
- WESTON, A.R.; MBAMBO, Z.; MYBURGH, K.H. Running economy of African and Caucasian distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 32, p. 1130-1134, 2000.
- WILBER, R.L.; PITSILADIS, Y.P. Kenyan and Ethiopian distance runners: what makes them so good? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 7, p. 92-102, 2012.
- WILLIAMS, K.R.; CAVANAGH, P.R. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *Journal Applied Physiology*, v. 63, p. 1236-1245, 1987.
- YANG, N.; MACARTHUR, D.G.; GULBIN, J.P.; HAHN, A.G.; BEGGS, A.H.; EASTEAL, S.; NORTH, K. ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *The American Journal of Human Genetics*, v. 73, p. 627-631, 2003.
- YANG, N.; MACARTHUR, D.G.; WOLDE, B.; ONYWERA, V.O.; BOIT, M.K.; LAU, S.Y.; WILSON, R.H.; SCOTT, R.A.; PITSILADIS, Y.P.; NORTH, K. The ACTN3 R577X polymorphism in East and West African athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 39, p. 1985-1988, 2007.