



FREQUÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO DO GENE DA α -ACTININA-3 E SUA ASSOCIAÇÃO EM ATLETAS BRASILEIRAS DE VOLEIBOL

FREQUENCY AND DISTRIBUTION OF THE α -ACTININ-3 GENE AND ITS ASSOCIATION IN BRAZILIAN VOLLEYBALL ATHLETES

 André Fernandes dos Santos¹
 Eduardo Mendonça Pimenta²
 Flavia Castello Branco Vidal³
 Emerson Silami Garcia⁴
 Christian Emmanuel Torres Cabido⁵
 Christiano Eduardo Veneroso⁶
 Mario Norberto Sevilio de Oliveira Junior⁷

Parecer nº 2.710.602, aprovando a realização da pesquisa.

Autor correspondente:

André Fernandes dos Santos
 Avenida Deputado Luís Eduardo Magalhães/ SN, condomínio jardim de toscana, torre livro apto 503. Bairro: alto do calhau- São Luís
 CEP: 65.071.415
fernandes_ejc@hotmail.com

¹ Universidade Federal do Maranhão, Egresso do Programa de Pós-Graduação em Educação Física.
 São Luís-Maranhão, Brasil.
fernandes_ejc@hotmail.com

² Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional,
 Belo Horizonte-MG, Brasil.
empimenta@uol.com.br

³ Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Educação Física.
 São Luís-Maranhão, Brasil.
flavia.vidal@ufma.br

⁴ Pesquisador independente
 Belo Horizonte-MG, Brasil.
emerson_silami@yahoo.com.br

⁵ Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Educação Física.
 São Luís-Maranhão, Brasil.
christian.cabido@ufma.br

⁶ Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Educação Física.
 São Luís-Maranhão, Brasil.
christiano.veneroso@ufma.br

⁷ Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Educação Física.
 São Luís-Maranhão, Brasil.
mario.sevilio@ufma.br

Resumo

Introdução: O gene ACTN3 codifica a proteína α -actinina-3 nas linhas Z do sarcômero, que ancora a proteína actina no aparelho contrátil, presente exclusivamente nas fibras musculares do tipo II, apresentando maior capacidade glicolítica, que é essencial para esportes com ações de alta intensidade e curta duração, como é o caso do voleibol.

Objetivo: Verificar a frequência e distribuição do gene ACTN3, genótipos RR e RX, que expressam α -actinina-3 (EX α -actinina-3), e genótipo XX, que não expressa α -actinina-3 (NE α -actinina-3), e sua relação com atletas brasileiras de voleibol.

Materiais e Métodos: Fizeram parte do estudo noventa e sete (97) atletas da Superliga Feminina de Voleibol. Foram avaliados a massa corporal, a estatura e a idade, para caracterização da amostra. Analisaram-se amostras salivares por meio de PCR em tempo real, para determinação dos genótipos, e, para verificar a associação do genótipo ao status de atleta de voleibol nas três categorias (Equipes Nacionais, Seleção Nacional e Olímpica), foi feito o teste de Qui-quadrado de independência (χ^2). Para obter a razão de chances do desfecho, foi realizada uma análise regressão log linear. Todos os testes foram realizados por meio do programa estatístico JAMOVI 2.4 (2023).

Resultados: Entre as atletas da amostra que disputam a competição nacional, 91,8% apresentam o genótipo EX- α -actinina-3. Já quando consideramos as competições internacionais, 93,7% apresentou o genótipo EX- α -actinina-3. Em se tratando das atletas que atuam pela seleção brasileira nos jogos olímpicos, 100% da amostra apresentou o genótipo EX- α -actinina-3. Considerando que na população mundial a frequência é de 80%, é possível verificar que, à medida que se aproxima das atletas que participam da seleção feminina, há maior participação daquelas com genótipo EX- α -actinina-3. Além disso, houve associação entre os genótipos EX α -actinina-3 e a categoria nacional com o status de atleta de elite, onde (χ^2) obteve o valor de p (0,023) e a razão da taxa (2,71) para o desfecho dos genótipos (EX α -actinina-3) serem atletas de elite.

Conclusão: As características genéticas do atleta, o ambiente, a nutrição e a preparação física, técnica e tática são alguns dos fatores que contribuem para o desempenho esportivo. Entretanto, os resultados do presente estudo sugerem que os genótipos RR e RX que expressam α -actinina-3, presente nas fibras musculares do tipo II, parecem conferir uma vantagem a atletas de voleibol de alto rendimento.

Descritores: Polimorfismo ACTN3. Voleibol. Alto desempenho.

Abstract

Introduction: The ACTN3 gene encodes the α -actinin-3 protein in the Z lines of the sarcomere, which anchors the actin protein in the contractile apparatus, present exclusively in type II muscle fibers, presenting greater glycolytic capacity, which is essential for sports with high-energy actions, intensity and short duration as is the case with Volleyball.

Objective: To verify the frequency and distribution of the ACTN3 gene, RR and RX genotypes that express α -actinin-3 (EX α -actinin-3), and XX genotype that do not express α -actinin-3 (NE α -actinin-3) and its association with Brazilian volleyball athletes.

Materials and Methods: Nine-seven (97) athletes from the women's volleyball super league took part in the study. Body mass, height and age were evaluated to characterize the sample. Salivary samples were analyzed using (PCR) in real time, to determine the genotypes, and, to verify the association of the genotype with the status of volleyball athlete in the three categories (National Teams, Brazilian National Team and Brazilian Olympic Team), the test was carried out Chi-square of independence (χ^2). To obtain the odds ratio of the outcome, a log linear regression analysis was performed. All tests were carried out using the JAMOVI 2.4 (2023) statistical software.

Results: Among the athletes in the sample competing in the National Teams competition, 91.8% have the EX- α -actinin-3 genotype. When we consider Brazilian National Team competitions, 93.7% have the EX- α -actinin-3 genotype. Athletes who play for the Brazilian Olympic Team, 100% of the sample have the EX- α -actinin-3 genotype. Considering that in the world population, the frequency is 80%, it is possible to verify that as you approach the athletes who participate in the women's team there is a greater participation of athletes with the EX- α -actinin-3 genotype. Furthermore, there was an association between the genotypes that EX α -actinin-3 and the National category, with the status of elite athlete, where (χ^2) obtained the p value (0.023) and the rate ratio (2.71) for the outcome of the genotypes (EX α -actinin-3) being elite athletes.

Conclusion: The athlete's genetic characteristics, environment, nutrition, physical, technical and tactical preparation are some of the factors that contribute to sports performance. However, the results of the present study suggest that athletes with RR and RX genotypes that express α -actinin-3, present in type II muscle fibers, seem to confer an advantage when playing high-performance volleyball.

Keywords: ACTN3 polymorphism. Volleyball. High performance.

Cite como

Vancouver

Santos, AF, Pimenta, EM, Vidal, FCB, Garcia, ES, Cabido, CET, Veneroso, CE, Oliveira Junior, MNS. Frequência e distribuição do gene da α -actinina-3 e sua associação em atletas brasileiras de voleibol. *Conscientiae Saúde*. 2024;23(1):1-14, e25515. <https://doi.org/10.5585/23.2024.25515>



Introdução

O voleibol é caracterizado por esforços intensos e de curta duração, sendo exigidas várias capacidades físicas, entre elas a força e a potência, principalmente nos saltos¹. Os atletas realizam saltos durante os bloqueios, ataques, saques e levantamentos, além de deslocamentos rápidos durante a defesa, necessitando de força e potência para realizar tais fundamentos técnicos². Estudos anteriores buscaram compreender os efeitos de determinados métodos de treinamento para melhorar a capacidade do salto vertical^{3,4}. Já outros buscaram compreender como alguns atletas performam melhor do que outros e como as características genéticas influenciam nesse desempenho^{5,6}. Nesse sentido, a biologia molecular tem avançado em compreender como determinados polimorfismos genéticos estão associados ao desempenho esportivo⁷⁻¹¹.

Entre os polimorfismos genéticos estudados tem-se o do ACTN3 (α -actinina-3), que está associado ao desempenho esportivo^{8,12,13}. Esse gene codifica α -actinina-3, proteína que constitui as linhas Z dos sarcômeros nas células musculares, ao qual estão ancorados os filamentos de actina. As α -actininas-3 estão presentes apenas nas fibras musculares do tipo 2; já a α -actinina-2 é encontrada em todas as fibras musculares. Contudo, ocorre uma mutação, que resulta em um *stop codon* prematuro (577X), em que indivíduos homozigotos para o alelo X expressam uma proteína truncada, causando deficiência na codificação de α -actinina-3. Essa deficiência de α -actinina-3 não resulta em nenhuma patologia¹⁴⁻¹⁷. A expressão do homozigoto do alelo X ocorre em aproximadamente 20% da população mundial^{5,7}. No entanto, esses genótipos são menos frequentes entre os atletas que dependem de grande capacidade de força e potência musculares. Foi demonstrado que indivíduos com o genótipo (577X) têm desempenho de força menor que aqueles com dominância do alelo R (577RR/RX)^{6,18,19}.

Apesar do avanço em entender como os fatores genéticos influenciam no desempenho, ainda existem poucos estudos que relacionam o perfil genético com o desempenho físico no voleibol^{20,21}. Assim, é importante verificar se determinados genótipos favorecem o desenvolvimento dessas capacidades físicas e se há uma associação entre os genótipos (EX α -actinina-3). Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar a frequência e distribuição do gene ACTN3, genótipos RR e RX, que expressam α -actinina-3 (EX α -actinina-3), e genótipo XX, que não expressa α -actinina-3 (NE α -actinina-3), e se existe uma relação das jogadoras brasileiras de voleibol, quando observadas em três categorias (Atletas Nacionais, Atletas da Seleção Nacional e Atletas Olímpicas), com o gene da ACTN3.

Metodologia

Aspectos éticos

O projeto de pesquisa foi submetido à avaliação do Comitê de Ética em Pesquisas Envolvendo Seres Humanos da Universidade Federal do Maranhão (CEP/UFMA) e atendeu às determinações contidas na Resolução CSN n° 466/12. Foi emitido parecer n° 2.710.602, aprovando a realização da pesquisa.

Os sujeitos da pesquisa foram esclarecidos quanto a sua finalidade, riscos e benefícios, sendo posteriormente convidados a participar. Aqueles que aceitaram voluntariar-se assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Foram adotados todos os procedimentos necessários para garantir o anonimato das voluntárias, e os dados foram utilizados apenas com finalidade científica.

Amostra

A amostra foi composta por 99 mulheres atletas inscritas na Confederação Brasileira de Voleibol (CBV) para disputarem a Superliga Feminina de Voleibol (2018/2019). Todos os clubes participantes estão situados nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Inicialmente, foram coletadas amostras salivares para análise de material genético de 99 atletas. Após a exclusão de duas atletas por análise inconclusiva de genotipagem, 97 foram incluídas no presente estudo.

Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídas atletas profissionais inscritas na Superliga Feminina de Voleibol (campeonato nacional) na temporada 2018/2019 e que tenham participado regularmente dos treinamentos. Caso alguma atleta, no momento da coleta, estivesse indisponível por motivos de lesão e/ou por enfermidades diversas, como viroses etc., seria excluída.

Tamanho amostral

O cálculo do tamanho amostral foi feito utilizando-se o programa estatístico PASS 11 (2011) e os seguintes parâmetros: população de atletas da Superliga Feminina (2018/2019) de 180 mulheres, frequência do alelo 577X na população mundial de 19%^{9,22}, nível de significância (α) de 5% e erro tolerável de 8%, com poder de teste de 80%. Assim, o número de atletas a serem amostrados foi de no mínimo 96.

Composição corporal

A massa corporal foi medida com as voluntárias descalças, trajando short e camiseta. Utilizou-se uma balança digital (Filizola®) com precisão de 0,02 kg, calibrada previamente. As voluntárias subiram na balança e ficaram em pé, com o tronco ereto e os braços estendidos ao longo do corpo, os pés ligeiramente afastados e o olhar fixo na linha do horizonte, até a conferência do peso e posterior anotação. A estatura (m) foi medida utilizando-se um estadiômetro com precisão de 0,5 cm acoplado a uma balança (Filizola®). A mensuração da estatura ocorreu no momento da verificação da massa corporal, devido à acoplagem do estadiômetro junto à balança. Após assumirem a posição para a medida da massa corporal, a estatura também foi avaliada.

Genotipagem

Para a genotipagem, a coleta e extração de DNA foi realizada a partir de swab de células orais, utilizando o kit Digene® HC2 DNA Collection Device. Inicialmente, transferiu-se o conteúdo (saliva) do tubo da coleta de DNA para um tubo de 1,5/2,0 ml já identificado. Os tubos foram centrifugados com velocidade máxima por um minuto; em seguida foi retirado o sobrenadante, deixando o pellet de células, e adicionados 100 μ l da solução de lise em cada amostra. Posteriormente, as amostras foram agitadas em vórtex e incubadas por três minutos no thermomixer a 95°C. Adicionaram-se 100 μ l da solução estabilizadora e agitou-se em vórtex novamente. As amostras foram armazenadas a 4°C até o seu uso. Para realização da análise da amostra foi utilizada PCR em tempo real, com o kit TaqMan GTXpress (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, EUA), no equipamento StepOne Real Time PCR System (Applied Biosystems). Esta técnica consiste no uso de sondas que emitem fluorescência capaz de ser detectada pelo aparelho.

Cada sonda é capaz de identificar um alelo diferente de polimorfismo através da complementaridade de bases, sendo elas: forward (GCACGATCAGTTCAAGGCAAC) e reverse (GCTGAGGGTGATGTAGGGATTG). Na identificação do polimorfismo do gene ACTN3 (rs1815739, C1747T) utilizaram-se as sondas do tipo TaqMan com fluorescências com diferentes comprimentos de onda: forward (VIC: CGAGGCTGACCGAGAG) na cor verde, para identificação do alelo X; e reverse (FAM: CCGAGGCTGACTGAGAG) na cor azul, para identificação do alelo R. Dessa forma, cada sonda é capaz de identificar um alelo específico associado ao gene analisado. O cálculo foi realizado de acordo com o número de reações, incluindo uma reação extra para cada 10 reações. Para uma placa cheia de 48 poços, realizou-

se a conta para 53 reações – sempre um controle negativo para cada polimorfismo analisado. O preparo do Mix deve ser realizado no escuro, em um tubo, para posterior distribuição na placa. O GTXpress foi homogeneizado antes de ser adicionado aos tubos e ajustado para o volume final de 10 μ l, sendo 8 μ l de Mix e 2 μ l de DNA. As seguintes medidas foram utilizadas: TaqMan GTXpress – 5 μ l x 53 = 26,5 μ l; Sonda (20x) – 0,5 μ l x 53 = 26 μ l; Água ultra pura – 2,5 μ l x 53 = 132,5 μ l. A temperatura e o tempo utilizado para cada ciclo de reação foram adaptados de acordo com as instruções do fabricante, sendo: holding a 95 °C por 20 segundos, 40 ciclos de desnaturação a 95 °C por 3 segundos e 1 ciclo de anelamento/extensão a 60 °C por 20 segundos. Após a identificação dos genótipos, as atletas foram classificadas em dois grupos: genótipos RR+RX, no grupo que expressa α -actinina-3 (EX α -actinina-3); e genótipo XX, no grupo que não expressa α -actinina-3 (NE α -actinina-3)

Análise estatística

Os dados foram analisados no programa JAMOVI 2.4 (2023). Inicialmente, foi realizada a estatística descritiva (idade [anos], massa corporal [kg] e estatura [cm]) (Tabela 1). A diferença entre os grupos para as variáveis de caracterização foi verificada utilizando-se uma Análise de Variância com um fator de variação (ANOVA One Way), seguida do teste t de Student para as comparações múltiplas. Os dados foram apresentados como média (desvio padrão [DP]). Para avaliar a associação entre as variáveis categóricas e os preditores, foi proposto um modelo de regressão Log Linear, bem como o ajuste do modelo, contendo os valores de R² CS que relacionam a influência da variável independente com o desfecho. Adicionalmente, o teste Qui-quadrado de independência foi utilizado para testar a associação entre os genótipos e as categorias.

As atletas (todas atuantes na Superliga Feminina de Voleibol na temporada 2018/2019) foram separadas em três categorias: Nacionais (que atuaram na Superliga), Seleção Nacional (que disputaram competições internacionais pela seleção brasileira, categoria adulto) e Olímpicas (que participaram de jogos olímpicos). Para verificar a associação dos genótipos, foi utilizado o percentual de 19% para o grupo NE α -actinina-3, tendo-se como referência a média da população mundial^{9,22}. Em todos os testes, o nível de significância para se rejeitar a hipótese de nulidade foi de 5%, ou seja, considerou-se como estatisticamente significativo um valor de p < 0,05. Os dados foram avaliados pelo programa JAMOVI 2.4 (2023).

Resultados

Não foi encontrada diferença estatística em nenhuma das variáveis analisadas para caracterizar a amostra, quando os grupos foram comparados. Observa-se que na categoria Olímpica houve frequência apenas de atletas de genótipos EX- α -actinina-3, enquanto o genótipo NE- α -actinina-3 não teve nenhuma frequência (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização da amostra e comparação entre os genótipos dentro de cada categoria nas variáveis idade, massa corporal e estatura

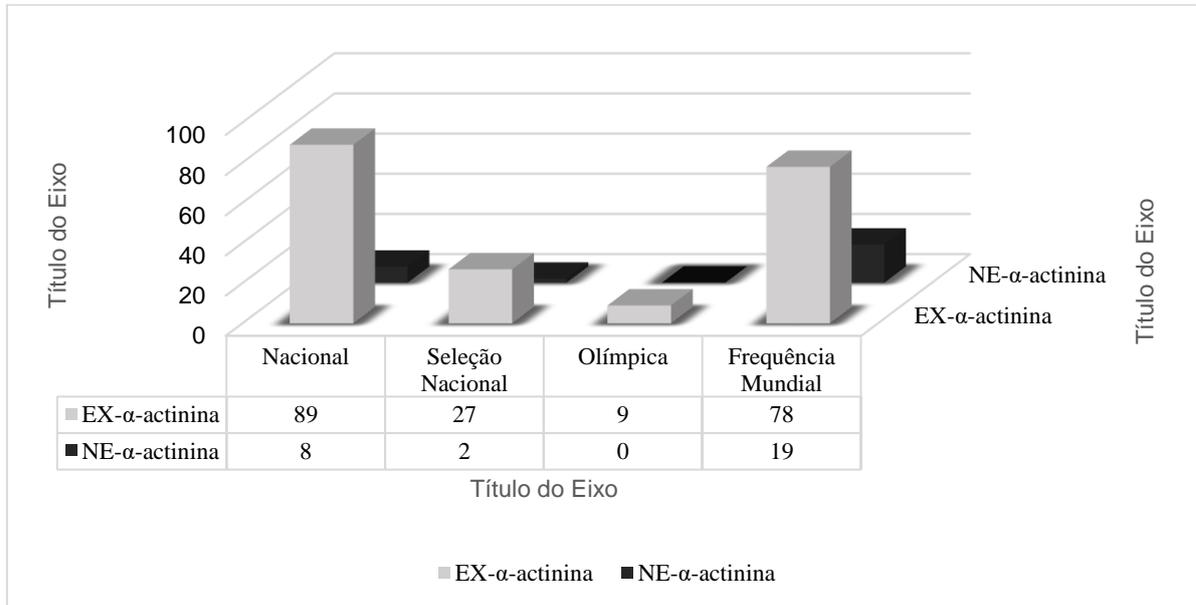
GENÓTIPOS	CATEGORIAS	IDADE (anos)	MASSA CORPORAL (kg)	ESTATURA (m)
		Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
EX α -actinina-3	Nacional	26 (4,86)	74,20 (8,01)	1,81 (0,07)
NE α -actinina-3	Nacional	25 (3,07)	74,69 (7,08)	1,81 (0,09)
		P = (0,70)	P = (0,82)	P = (0,95)
EX α -actinina-3	Seleção Nacional	28 (5,24)	76,9 (7,96)	1,85 (0,05)
NE α -actinina-3	Seleção Nacional	25 (4,94)	79,0 (1,41)	1,81 (0,01)
		P = (0,42)	P = (0,72)	P = (0,31)
EX α -actinina-3	Olímpica	32 (4,36)	78,2 (10,7)	1,83 (0,06)
NE α -actinina-3	Olímpica	"Não houve amostras para esse genótipo"		

Não houve diferença significativa entre os genótipos dentro de cada categoria quando avaliadas as variáveis idade, peso e estatura.

Fonte: Própria do autor.

Independentemente do nível competitivo, foi encontrada maior representatividade dos genótipos EX- α -actinina-3: na competição nacional, 91,8%; nas competições internacionais, 93,7%; e, atuando pela seleção brasileira nos jogos olímpicos, 100% da amostra. Assim, observou-se variação de 11,8% a 20% a mais de genótipos EX- α -actinina-3, em relação à média da população mundial (Figura 1).

Figura 1 - Frequência dos genótipos por categoria



Fonte: Própria do autor.

Os dados da amostra apresentam a frequência dos genótipos RR, RX e XX, segmentada por categorias. Do total de 97 atletas que participaram do estudo e atuaram na Superliga Feminina 2018/2019, 89 apresentavam EX α -actinina-3, sendo o maior número de atletas com genótipo RX. Quando essas atletas foram observadas atuando pela seleção brasileira, na categoria Seleção Nacional, do total de 29 atletas, 27 são de genótipos EX α -actinina-3. Já na categoria Olímpica predominaram os genótipos EX α -actinina-3, sendo 3 atletas de genótipo RR e 6 atletas RX, ou seja, o dobro de RR nesta categoria. Observa-se que o genótipo XX diminuiu a frequência à medida que se aumentou a seletividade; assim, apenas a elite, entre as atletas profissionais, jogará competições internacionais. No entanto, torna-se mais seletivo quando se trata de jogos olímpicos, e ainda mais quando são medalhistas de ouro. Logo, na categoria nacional, foram constatados 8 atletas com NE α -actinina-3; na Seleção Nacional diminuiu para 2 atletas com NE α -actinina-3; e, entre as Olímpicas, nenhuma atleta teve deficiência de α -actinina-3 (Tabela 2).

Tabela 2 - Frequência dos genótipos RR, RX e XX, divididos em categorias, quando observada a participação em competições

GENÓTIPOS	Atletas que atuaram na Superliga 2018/2019	Atletas que já disputaram Liga Mundial/Liga das Nações/Campeonato Mundial	Atletas que já disputaram Jogos Olímpicos
	(Atletas Nacionais) N / %	(Seleção Nacional) N / %	(Olímpicas) N / %
RR	42 (43,3 %)	13 (44,8 %)	3 (33,3 %)
RX	47 (48,5 %)	14 (48,3 %)	6 (66,7 %)
XX	08 (8,2 %)	2 (6,9 %)	0 (0,0 %)

Fonte: Própria do autor.

Por meio da análise de regressão foi possível observar que na amostra das atletas de voleibol houve maior incidência dos genótipos EX α -actinina-3, com uma razão da taxa de prevalência de 2,71, em um modelo que comparou as categorias Nacionais vs. Frequência Mundial de Genótipos. No teste de associação χ^2 entre as categorias e os genótipos, foi encontrado o valor de P (0,026), associando os genótipos EX α -actinina-3 à categoria Nacional. Já na categoria Seleção Nacional vs. Frequência Mundial, a análise de regressão demonstrou uma razão da taxa de prevalência de 3,28, entretanto não houve nenhuma associação da categoria aos genótipos, quando aplicado teste de χ^2 . Analisando os grupos que contêm apenas atletas de voleibol, categorias Seleção Nacional vs. Nacional, a razão da taxa de prevalência foi de 1,21, demonstrando maior incidência dos genótipos EX α -actinina-3, na categoria Seleção Nacional. Na categoria Olímpica não foi testado o modelo devido à predominância apenas dos genótipos EX α -actinina-3. O ajuste do modelo, $R^2CS = 1,00$, demonstra alta correlação, em que 100% dos preditores genéticos influenciam as variáveis categóricas (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise multivariada dos fatores associados às categorias e aos genótipos

PREDITOR	P	Razão de taxa (RT)	Intervalo de Confiança a 95%	
			Lim. Inferior	Superior
INTERCEPTO	< 0,001	19,00	12,11	29,78
(EX α -actinina-3 – NE α -actinina-3) * (Nacionais – Frequência Mundial dos Genótipos)	0,026	2,71	1,12	6,53
(EX α -actinina-3 – NE α -actinina-3) * (Seleção Nacional – Frequência Mundial dos Genótipos)	0,12	3,28	0,71	15,05
(EX α -actinina-3 – NE α -actinina-3) * (Seleção Nacional – Nacionais)	0,81	1,21	0,24	6,06
(EX α -actinina-3 – NE α -actinina-3) * (Olímpica – Frequência Mundial dos Genótipos)	1,00	1,06e+10	0,00	Inf
(EX α -actinina-3 – NE α -actinina-3) * (Seleção Nacional – Frequência Mundial dos Genótipos)	0,12	3,28	0,71	15,05
Teste ao Modelo Global	R ² CS 1,000	χ^2 282	P < 0,001	

Fonte: Própria do autor.

Discussão

O presente estudo teve o objetivo de analisar a frequência e distribuição do gene ACTN-3 entre atletas atuantes no voleibol feminino brasileiro. Foi observado que, na categoria Atletas Nacionais, 43,3% dos genótipos são RR; 48,5%, RX; e 8,2%, XX, com 91,8% EX- α -actinina-3 e 8,2% NE- α -actinina-3. No modelo de regressão log linear a razão de taxa dos genótipos EX- α -actinina-3 para os NE- α -actinina-3, entre as categorias Atletas Nacionais vs. Frequência Mundial de Genótipos, foi de 2,71. Assim, a estimativa de expressão da α -actinina-3 corresponde a uma possibilidade quase três vezes maior de estarem presentes entre as atletas profissionais que atuam na Superliga Feminina de Voleibol do que pessoas que não expressam α -actinina-3.

Os genótipos que expressam EX- α -actinina-3 predisõem um fenótipo muscular para o desempenho nas atividades de força, potência e velocidade, como demonstrado, estando os genótipos RR e RX associados ao status de atleta de elite nos esportes que requerem potência muscular^{23,24}. Existe, portanto, uma relação do alelo R com as fibras musculares de contração rápida e níveis mais elevados de testosterona, tanto em homens atletas quanto em mulheres atletas com o alelo R, do que em homozigotos XX. Orisiak et al.²⁶ investigaram jovens poloneses masculinos atletas de cinco modalidades esportivas e observaram que na modalidade voleibol a frequência foi de 29 atletas com EX- α -actinina-3 (93,7%) e apenas 2 com NE- α -

actinina-3, correspondendo a 6,4% da amostra de voleibol, semelhante ao encontrado no presente estudo, para a categoria Seleção Nacional.

Entre as atletas da categoria Seleção Nacional, embora não tenha havido associação dos genótipos EX- α -actinina-3, 44,8% foram de genótipo RR, 48,3% de RX e 6,3% de XX, com o total de 93,1% de EX- α -actinina-3 e 6,9% de NE- α -actinina-3. Além do maior percentual de genótipos EX- α -actinina-3, o efeito na razão de taxa entre os genótipos EX- α -actinina-3 também foi maior (Tabela 3). No tocante à categoria Atletas Nacionais, quando se analisou a incidência dos genótipos EX- α -actinina-3, entre as categorias Seleção Nacional e Frequência Mundial dos Genótipos, a razão da taxa foi de 3,28, demonstrando maior seletividade genética; as chances do desfecho foram mais de três vezes superiores em comparação à frequência mundial dos genótipos NE- α -actinina-3. Já a razão da taxa dos genótipos e o teste de associação não foram realizados entre as categorias Atletas Olímpicas e Frequência Mundial dos Genótipos, visto que apenas amostras com os genótipos que expressam EX- α -actinina-3 foram observadas nesta categoria.

Ainda, foi encontrado que, para as atletas olímpicas, 100% da amostra apresentava EX- α -actinina-3. Esses resultados corroboram os achados de Yang et al.¹², em uma amostra composta por 107 atletas velocistas (35 mulheres + 72 homens), dos quais 32 atletas olímpicos (7 mulheres + 25 homens), que encontraram apenas 6% com NE- α -actinina-3, e, entre as mulheres não foi encontrada nenhuma com NE- α -actinina-3, assim como nos demais atletas olímpicos avaliados no estudo, visto que todos apresentavam EX- α -actinina-3. Em outro estudo, Scott et al.²⁷ constataram que, do total de 116 atletas velocistas de elite da Jamaica, 46 eram medalhistas mundiais e/ou olímpicas e apenas 3% apresentaram NE- α -actinina-3.

Por sua vez, Ruiz et al.²¹ verificaram a frequência dos genótipos e o desempenho do salto vertical entre atletas de elite do voleibol espanhol. Nesse estudo não foi encontrada diferença significativa entre os genótipos RR e RX, que expressam EX α -actinina-3, e XX, que expressa NE α -actinina-3. No estudo espanhol, 35 atletas competiam no principal campeonato de elite, e, desse total, 25 atletas faziam parte da seleção espanhola que participa de competições internacionais. Das 35 atletas espanholas, 30 apresentavam EX α -actinina-3 (86,0%) e 5 (14,3%) tinham NE α -actinina-3. No presente estudo, realizado com as atletas brasileiras, observou-se uma diferença, com 5,8% a mais de atletas com EX α -actinina-3 e 6,1% a menos com NE α -actinina-3, em relação à amostra de atletas espanholas. Essa diferença aumenta quando a comparação é feita entre as categorias Seleção Nacional e Olímpica, em relação à amostra espanhola, com 7,1% e 14,0% a mais de genótipos que expressam EX α -actinina-3, respectivamente. A seleção feminina de vôlei da Espanha vem progredindo no ranking da

FIVB, de 42^o para 34^o, porém ainda sem títulos mundiais ou olímpicos na principal categoria. Por outro lado, é importante observar que 100% das atletas olímpicas brasileiras são de genótipos EX α -actinina-3 e que o Brasil possui cinco medalhas olímpicas (duas de ouro, uma de prata e duas de bronze), permanecendo no topo do ranking mundial nas duas últimas décadas. Assim, o aspecto genético, com predomínio dos genes EX α -actinina-3, pode conferir vantagem das brasileiras em relação às espanholas.

Estudos mais robustos, como a meta-análise realizada por Tharabenjasin, Pabalan e Jarjanazi⁶, demonstram associações consistentes entre o alelo R/genótipo RX do polimorfismo ACTN-3 e o status de atleta de elite, verificados em vários esportes individuais e coletivos. No referido estudo, o alelo R foi associado a atletas mulheres ocidentais, enquanto o genótipo RX foi associado a atletas homens asiáticos. Quando se observam pesquisas que envolvem atletas de elite, que disputam campeonatos mundiais e olímpicos, em se tratando do gene ACTN-3, genótipos RR e RX que EX α -actinina-3, a associação ao status de elite é consistente, principalmente em esportes individuais com alta exigência de força e velocidade. Já em estudos com amostras de atletas das categorias de base e amadores, como o de Orysiak et al.³⁰, os genótipos EX α -actinina-3 são menos frequentes do que em estudo com atletas de elite, e os genótipos NE α -actinina-3 chegam a uma frequência maior que a da média da população mundial.

Conclusão

As características genéticas do atleta, o ambiente, a nutrição e a preparação física, técnica e tática são alguns dos fatores que contribuem para o desempenho esportivo. Os resultados do presente estudo sugerem que os genótipos RR e RX que expressam α -actinina-3 estão associados ao status de atletas da Superliga Feminina de Voleibol, o que parece denotar uma vantagem para jogar voleibol no alto rendimento.

Agradecimentos

Aos clubes participantes da pesquisa, à Universidade Federal do Maranhão, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Finance code 001).

Referências

1. Noyes FR, Barber-Westin SD, Smith ST, Campbell T. A training program to improve neuromuscular indices in female high school volleyball players. *J Strength Cond Res.* 2011;25(8):2151-60.
2. García-de-Alcaraz A, Ramírez-Campillo R, Rivera-Rodríguez M, Romero-Moraleda B. Analysis of jump load during a volleyball season in terms of player role. *J Sci Med Sport.* 2020;23(10):973-8.
3. Reis AD, Alvares PD, Diniz RR, Lima FA, Santos AF, Soares MCR, Leite RD. Força explosiva, agilidade, flexibilidade e medidas antropométricas de atletas universitárias de vôlei. *Rev Bras Prescr Fisiol Exerc.* 2019;13(82):320-8.
4. Ramirez-Campillo R, García-de-Alcaraz A, Chaabene H, Moran J, Negra Y, Granacher U. Effects of plyometric jump training on physical fitness in amateur and professional volleyball: a meta-analysis. *Front Physiol.* 2021;26(12):636.
5. Lee FX, Houweling PJ, North KN, Quinlan KG. How does α -actinin-3 deficiency alter muscle function? Mechanistic insights into ACTN-3, the 'gene for speed'. *Biochim Biophys Acta.* 2016;1863(4):686-93.
6. Tharabenjasin P, Pabalan N, Jarjanazi H. Association of the ACTN-3 R577X (rs1815739) polymorphism with elite power sports: A meta-analysis. *PLoS One.* 2019;14(5):0217390.
7. MacArthur DG, North KN. A gene for speed? The evolution and function of alpha-actinin-3. *Bioessays.* 2004;26(7):786-95.
8. Pimenta EM, Coelho DB, Veneroso CE, Barros Coelho EJ, Cruz IR, Morandi RF, De A Pussieldi G, Carvalho MR, Garcia ES, De Paz Fernández JA. Effect of ACTN3 gene on strength and endurance in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(12):3286-92.
9. Eynon N, Hanson ED, Lucia A, Houweling PJ, Garton F, North KN, Bishop DJ. Genes for elite power and sprint performance: ACTN3 leads the way. *Sports Med.* 2013;43(9):803-17.
10. Ma F, Yang Y, Li X, Zhou F, Gao C, Li M, Gao L. The association of sport performance with ACE and ACTN3 genetic polymorphisms: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2013;8(1):54685.
11. Durmic TS, Zdravkovic MD, Djelic MN, Gavrilovic TD, Djordjevic Saranovic SA, Plavsic JN, Mirkovic SV, Batinic DV, Antic MN, Mihailovic ZR, Atanasijevic NG, Mileusnic MJ, Stojkovic OV. Polymorphisms in ACE and ACTN3 Genes and blood pressure response to acute exercise in elite male athletes from Serbia. *Tohoku J Exp Med.* 2017;243(4):311-20.
12. Yang N, MacArthur DG, Gulbin JP, Hahn AG, Beggs AH, Eastal S, North K. ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *Am J Hum Genet.* 2003;73(3):627-31.

13. Guilherme JPLF, Bertuzzi R, Lima-Silva AE, Pereira ADC, Lancha Junior AH. Analysis of sports-relevant polymorphisms in a large Brazilian cohort of top-level athletes. *Ann Hum Genet.* 2018;82(5):254-64.
14. North KN, Yang N, Wattanasirichaigoon D, Mills M, Eastal S, Beggs Ah, A common nonsense mutation results in a-actinin-3 deficiency in the general population. *Nature Genetics.* 1999;21:353-4.
15. Mills M, Yang N, Weinberger R, Vander Woude DL, Beggs AH, Eastal 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. *Hum Mol Genet.* 2001;10(13):1335-46.
16. Vincent B, Bock K, Ramaekers M, Eede ED, Leemputte MV, Hespel P, Thomis MA. ACTN3 (R577X) genotype is associated with fiber type distribution *Physiol Genomics.* 2007;32(1):58-63.
17. Kumagai H, Tobina T, Ichinoseki-Sekine N, Kakigi R, Tsuzuki T, Zempo H, Shiose K, Yoshimura E, Kumahara H, Ayabe M, Higaki Y, Yamada R, Kobayashi H, Kiyonaga A, Naito H, Tanaka H, Fuku N. Role of selected polymorphisms in determining muscle fiber composition in Japanese men and women. *J Appl Physiol (1985).* 2018;124(5):1377-84.
18. Kikuchi N, Zempo H, Fuku N, Murakami H, Sakamaki-Sunaga M, Okamoto T, Nakazato K, Miyachi M. Association between ACTN3 R577X polymorphism and trunk flexibility in 2 different cohorts. *Int J Sports Med.* 2017;38(5):402-6.
19. Papadimitriou LD, Lucia A, Pitsiladis YP, Pushkarev VP, Dyatlov VA, Orekhov EF, Artioli G, Guilherme JP, Lancha Jr. A, Ginevicienė V, Cieszczyk P, Maciejewska-Karłowska A, Sawczuk M, Muniesa CA, Kouvatsi A, Massidda M, Calò CM, Garton F, Houweling PJ, Wang G, Austin K, Druzhevsk AM, Astratenkova IA, Ahmetov I, Bishop D, North K, Eynon N. ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study *BMC Genomics.* 2016;17:285.
20. Marques Mc, González-Badillo JJ. In-season resistance training and detraining in professional team handball players. *J Strength Cond Res.* 2006 Aug;20(3):563-71. doi: 10.1519/R-17365.1. Erratum in: *J Strength Cond Res.* 2007;21(4):1002.
21. Ruiz Jr, Fernández Del Valle M, Verde Z, Díez-Vega I, Santiago C, Yvert T, Rodríguez-Romo G, Gómez-Gallego F, Molina Jj, Lucia A. ACTN3 R577X polymorphism does not influence explosive leg muscle power in elite volleyball players. *Scand J Med Sci Sports.* 2011;21(6):34-41.
22. Amorim Ce, Acuña-Alonzo V, Salzano Fm, Bortolini Mc, Hünemeier T. Differing evolutionary histories of the ACTN3*R577X polymorphism among the major human geographic groups. *PLoS One.* 2015;23;10(2):0115449.
23. Ben-Zaken S, Eliakim A, Nemet D, Meckel Y. Variabilidade genética entre atletas de força: o mais forte versus o mais rápido. *J Strength Cond Res.* 2019;33(6):1505-11.

24. Akazawa N, Ohiwa N, Shimizu K, Suzuki N, Kumagai H, Fuku N, Suzuki Y. The association of ACTN3 R577X polymorphism with sports specificity in Japanese elite athletes. *Biol Sport*. 2022;39(4):905-11.
25. Araújo MC, Costa A de S, Frota CM, Cortez ACL, Gomes AC, Simões HG. Modulação genética da miostatina e do gene ACTN3 em hipertrofia e força muscular: uma revisão integrativa. *Rev Ed Física*, 2018;87(1).
26. Orysiak J, Busko K, Michalski R, Mazur-Różycka J, Gajewski J, Malczewska-Lenczowska J, Sitkowski D, Pokrywka A. Relationship between ACTN3 R577X polymorphism and maximal power output in elite Polish athletes. *Medicina*. 2014;50(5) 303-8.
27. Scott RA, Irving R, Irwin L, Morrison E, Charlton V, Austin K, Tladi D, Deason M, Headley SA, Kolkhorst FW, Yang N, North K, Pitsiladis YP. ACTN3 and ACE genotypes in elite Jamaican and US sprinters. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(1):107-12.
28. Yang R, Shen X, Wang Y, Voisin S, Cai G, Fu Y, Xu W, Eynon N, Bishop DJ, Yan X. ACTN3 R577X gene variant is associated with muscle-related phenotypes in elite Chinese sprint/power athletes. *J Strength Cond Res*. 2017;31(4):1107-15.
29. Hmetov II, Donnikov AE, Trofimov DY. Actn3 genotype is associated with testosterone levels of athletes. *Biol Sport*. 2014;31(2):105-8.
30. Orysiak J, Mazur-Różycka J, Busko K, Gajewski J, Szczepanska B, Malczewska-Lenczowska J. Individual and combined influence of ACE and ACTN3 genes on muscle phenotypes in Polish athletes. *J Strength Cond Res*. 2018;32(10):2776-82.