UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-graduação em Ciências do Esporte

Adriel Leal da Costa Santos

ASSOCIAÇÃO DO GENE *ACTN3* COM AS RESPOSTAS TERMOGRÁFICAS EM MEMBROS INFERIORES DE ATLETAS DE FUTEBOL EM JOGOS SERIADOS

Belo Horizonte
2022

Adriel Leal da Costa Santos

ASSOCIAÇÃO DO GENE *ACTN3* COM AS RESPOSTAS TERMOGRÁFICAS EM MEMBROS INFERIORES DE ATLETAS DE FUTEBOL EM JOGOS SERIADOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Esporte da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Esporte.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta

Belo Horizonte
2022

Santos, Adriel Leal da Costa

S237a Associação do gene actn3 com as respostas termográficas em membros inferiores de atletas de
2 futebol em jogos seriados. [manuscrito] / Eduardo Mendonça Pimenta – 2022.
022 62 f.: il.

Orientador: Eduardo Mendonça Pimenta

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: f. 47-56

1. Genética – Teses. 2. Futebol – Teses. 3. Esporte - Aspectos fisiológicos – Teses. I. Pimenta, Eduardo Mendonça. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 612:796

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Antônio Afonso Pereira Júnior, CRB 6: n° 2637, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO ESPORTE

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ADRIEL LEAL DA COSTA SANTOS

Às **14:00 horas** do dia **08 de novembro de 2022**, reuniu-se por videoconferência a Comissão Examinadora de Dissertação, indicada pelo Colegiado do Programa para julgar, em exame final, o trabalho in tulado "**ASSOCIAÇÃO DO GENE ACTN3 COM AS RESPOSTAS TERMOGRÁFICAS EM MEMBROS INFERIORES DE JOGADORES DE FUTEBOL EM JOGOS SERIADOS".** Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta (UFMG), orientador, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra para o candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respec va defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Eduardo Mendonca Pimenta (ORIENTADOR) - EEFFTO/UFMG
Prof. Dr. Varley Teoldo da Costa (MEMBRO TITULAR) - EEFFTO/UFMG
Prof. Dr. Chris ano Eduardo Veneroso (MEMBRO TITULAR) - UFMA

Após as indicações o candidato foi considerado: **APROVADO**

O resultado foi comunicado publicamente para o candidato pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros par cipantes da Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 08 de novembro de 2022

Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Pereira Cortes**, **Diretor(a) de unidade**, em 28/11/2022, às 11:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Chris ano Eduardo Veneroso**, **Usuário Externo**, em 28/11/2022, às 21:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Varley Teoldo da Costa**, **Professor do Magistério Superior**, em 07/12/2022, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A auten cidade deste documento pode ser conferida no site h ps://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1925443** e o código CRC **44E62BAD**.

.

Dedico este trabalho à minha amada mãe

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me abençoar e iluminar em toda minha caminhada, principalmente nos dias mais difíceis e por colocar no meu caminho pessoas que de forma generosa e grandiosa me ajudaram.

Agradeço aos meus pais (Goretti e João) por todo amor, cuidado e aos ensinamentos diários que me ajudaram a ter coragem e determinação.

Agradeço a minha amada companheira Leana Alves, que sempre esteve comigo, tornando esse processo mais leve com sua empatia, apoio e incentivo diário.

Agradeço imensamente ao Prof. Dr. Eduardo Pimento por sua confiança e carinho, seus ensinamentos, à oportunidade e privilégio de ser aluno deste excepcional profissional e ser humano e principalmente, por sua incomparável dedicação e generosidade na arte de ensinar. Sempre serei grato!

Aos meus amigos do mestrado Suene Franciele e Miller Assis por estarem disponíveis nos momentos de incerteza, pelas boas conversas e todo conhecimento compartilhado.

Aos meus familiares, Marcus Uchoa e Allen Araújo por todo apoio durante esta caminhada, vocês foram fundamentais neste processo e sou muito grato a vocês.

E por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram com meu sucesso e torceram por mim nesta caminhada.

“Saber lidar com as adversidades,
mantendo a determinação na busca dos objetivos,
sem recorrer a álibis e com o espírito fortalecido
e motivado para ultrapassar os obstáculos”
(Bernadinho, Nunca deixe de tentar, 2009).

Resumo

A era pós genômica contribuiu para uma melhor compreensão das influências genéticas no desempenho físico, dentre estas, o polimorfismo do gene *ACTN3* que se mostrou influenciar no desempenho atlético e na funcionalidade da musculatura esquelética, além disso, o avanço das ciências do esporte tem possibilitado o desenvolvimento de métodos inovadores como a Termografia Infravermelha (TRI), que permite analisar a temperatura da pele de regiões específicas corporais e monitoramento de forma indireta do dano muscular após sessões de treinamento e/ou partidas. O objetivo do estudo foi verificar associação do polimorfismo genético *ACTN3* com as respostas termográficas de membros inferiores de atletas de futebol Sub-20 24horas e 48horas após partidas durante o período de jogos seriados. Quatorze atletas de futebol da categoria Sub 20 (19,0 ± 1 anos; 74,3 ± 7.1 kg; 10.3 ± 2.2 %G, 178.1 ± 6.6 cm, 56.3 ± 3.1 mL.kg-1.min-1) que faziam parte de um clube de futebol de elite brasileiro foram submetidos ao estudo durante 12 jogos e os genótipos do gene *ACTN3* R577X (rs1815739) foi o critério adotado para formação dos grupos. Para análise dos quadrantes nas visões anterior e posterior foi usada uma câmera térmica profissional (T1020, FLIR Systems, Stockholm). Os termogramas foram coletados durante a competição nos momentos 24h e 48h após 12 partidas, selecionados e visualizados em software dedicado (APOLLO®, OMNI, Brazil). As variáveis mecânicas foram coletadas por meio de GPS integrado (Polar® Team Pro 2) de 10 Hz com sensor de movimento MEMS, 200Hz (acelerômetro 3D, giroscópio e magnetômetro). A Manova unidirecional mostrou que há efeito do genótipo sobre na zona quente após 48h, distância percorrida em alta intensidade por minuto e número de ações de alta intensidade por minuto ($p<0.001$). A ANOVA *two-way* mostrou que a interação entre momento e genótipo teve influência significativa no somatório de pixels da zona quente ($p<0.001$), mostrou que o momento teve influência significativa no somatório de pixels da zona quente ($p<0.001$) e mostrou que o genótipo teve influência significativa no somatório de pixels da zona quente ($p<0.001$). O Genótipo XX obteve média de 250,71 pixels na Zona Quente 48horas após partidas de futebol. Além disto, o genótipo RR realizou 1,43 ações/minuto, percorreu em média 10,57 m/minuto e obteve 71,12 pixels na Zona Quente 48horas após partidas de futebol. Essas informações podem ser válidas para uso durante sessões de monitoramento da resposta interna por meio da Termopixelgrafia (TPG) em departamentos de fisiologia em clubes de futebol e para realização de periodização do treinamento por preparadores físicos.

Palavras-chave: ACTN3; Termografia Infravermelha; Variáveis Mecânicas; Futebol

Abstract

The post genomic era has contributed to a better understanding of the genetic influences on physical performance, among them, the ACTN3 gene polymorphism that has been shown to influence athletic performance and skeletal muscle functionality, in addition, the advancement of sport sciences has made possible the development of innovative methods such as Infrared Thermography (IRT), which allows analyzing the skin temperature of specific body regions and indirectly monitoring muscle damage after training sessions and/or matches. The objective of the study was to verify the association of the ACTN3 genetic polymorphism with the thermographic responses of the lower limbs of U-20 soccer athletes 24 hours and 48 hours after matches during the period of serial games. Fourteen soccer athletes from the Under 20 category (19.0 ± 1 years; 74.3 ± 7.1 kg; 10.3 ± 2.2 %F, 178.1 ± 6.6 cm, 56.3 ± 3.1 mL.kg-1.min-1) who were part of from an elite Brazilian soccer club were submitted to the study during 12 games and the ACTN3 R577X (rs1815739) gene genotypes were the criterion adopted for the formation of the groups. For analysis of the quadrants in the anterior and posterior views, a professional thermal camera (T1020, FLIR Systems, Stockholm) was used. Thermograms were collected during the competition at 24h and 48h after 12 matches, selected and visualized in dedicated software (APOLLO®, OMNI, Brazil). Mechanical variables were collected using an integrated GPS (Polar® Team Pro 2) at 10 Hz with MEMS motion sensor, 200Hz (3D accelerometer, gyroscope and magnetometer). The unidirectional Manova showed that there is an effect of the genotype on the hot zone after 48h, distance traveled at high intensity per minute and number of high intensity actions per minute ($p<0.001$). Two-way ANOVA showed that the interaction between moment and genotype had a significant influence on the sum of pixels of the hot zone ($p<0.001$), showed that the moment had a significant influence on the sum of pixels of the hot zone ($p<0.001$) and showed that the genotype had a significant influence on the sum of pixels in the hot zone ($p<0.001$). Genotype XX obtained an average of 250.71 pixels in the Hot Zone 48 hours after soccer matches. In addition, the RR genotype performed 1.43 actions/minute, traveled an average of 10.57 meters/minute and obtained 71.12 pixels in the Hot Zone 48 hours after soccer matches. This information can be valid for use during sessions of monitoring the internal response through Thermopixelgraphy (TPG) in physiology departments in soccer clubs and for carrying out periodization of training by physical trainers.

Keywords: ACTN3; Infrared Thermography; Mechanical Variables; Soccer

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do sarcômero 17
Figura 2 - Rede de interação da α-actinina-2 21
Figura 3 - Espectro eletromagnético 26
Figura 4 - Delineamento metodológico 34
Figura 5 - Comparação da quantidade de pixels e momentos Pré, 24horas e 48horas após jogo 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de temperatura em °C e suas zonas de referência 35
Tabela 2 - Nível de correlação entre duas variáveis 37
Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis mecânicas e da TRI 38
Tabela 4 - Interações da Anova Two Way 39
Tabela 5 - Teste de Tukey - Anova Two Way 39
Tabela 6 - Manova Unidirecional 40
Tabela 7 - Anovas Univariadas 40
Tabela 8 - Teste de Tukey - Manova 41
Tabela 9 – Matriz de correlação 42

LISTA DE ABREVIATURAS

A – Arginina

ABD – Domínio de ligação á actina

***ACTN3* –** Gene ACTN3 R577X

ATP – Adenosina trifosfato

C – Base Citosina

Ca^{2+} – Cálcio

CBF – Confederação Brasileira de Futebol

CH – Domínio Homólogo a caponina

CK – Creatina quinase

CMJ – Salto com contramovimento

DNA – Ácido Desoxirribonucleico

EDTA – Ácido Edetético

FIFA – Federação Internacional de Futebol Associado

GPS – Global Positioning System

KO – Camundongo knouckout

LDH – Lactato desidrogenase

MyHC – Cadeia pesada de miosina

NFAT – Fator nuclear de células T

PCR – Proteína C-Reativa

PCr – Creatina fosfato

RCAN-1 – Regulador de calcineurina 1

RCIs – Regiões corporais de interesse

ROI – Região de interesse

SERCA1 – ATPase 1 de cálcio do retículo sarcoplasmático

SLRs - Repetições semelhantes a espectrina (SLRs)

SNP – Polimorfismo de Nucleotídeo Único

T – Base Timina

Tp – Temperatura da pele

TPG – Termopixelgrafia

TRI – Termografia infravermelha

HGM – Mapa do Genoma Humano

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 14

1.1 Objetivos 15

1.2 Hipóteses 15

2 **REVISÃO DA LITERATURA** 16

2.1 **GENE *ACTN3*** 16

2.1.1 Deficiência da α-actinina 3 no modelo animal 18

2.1.2 Aspectos estruturais, metabólicos e de sinalização na deficiência da α-actinina 3 19

2.1.3 Alterações estruturais atribuídos a deficiência da α-actinina 3 21

2.1.4 Futebol e α-actinina 3 22

2.2 **TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (TRI)** 24

2.2.1 Princípios físicos norteadores 25

2.2.2 Variáveis de intervenção 28

2.2.3 Estudos de associação e métodos de análise 29

2.3 **VARIÁVEIS MECÂNICAS** 31

3 **MATERIAIS E MÉTODOS** 33

3.1 Cuidados Éticos 33

3.2 Participantes 33

3.3 Delineamento metodológico 34

3.3.1 Caracterização da Amostra 34

3.3.2 Aquisição de imagens térmicas 34

3.3.3 Genotipagem do SNP rs1815739 ACTN3 R577X 35

3.3.4 Variáveis mecânicas 36

3.3.5 Análise Estatística 36

4 **RESULTADOS** 38

5 **DISCUSSÃO** 43

6 **CONCLUSÃO** 47

REFERÊNCIAS 48

APÊNDICES 58

1 INTRODUÇÃO

O jogo de futebol apresenta uma conjuntura aeróbica, com perfil de deslocamentos em regime intermitente, sendo frequente a realização de ações de alta intensidade como chutes, saltos, choques, mudanças de direção, acelerações e desacelerações, além disto, a frequência cardíaca máxima pode variar entre 80-90% do valor máximo, evidenciando que, ao longo dos anos a modalidade tem passado por transformações no seu jogar, com uma maior demanda do componente força principalmente em ações de curta duração e alta velocidade que, realizadas em elevada frequência podem definir uma partida dado que, durante uma partida de futebol os atletas percorrem entre 9 e 13 km, realizam entre 1000 e 1400 ações com variação de 4 a 6 segundos, a cada intervalo de 90 segundos é evidenciado uma ação de sprint, com duração de 2 a 4 segundos (MOHR; KRUSTRUP; BANGSBO, 2005; STOLEN *et al*., 2005; BANGSBO; MOHR; KRUSTRUP, 2006; DI SALVO *et al*., 2009; RAVAGNANI *et al*., 2013).

O desempenho esportivo é influenciado pela combinação de fatores ambientais como treinamento e nutrição e fatores genéticos, sendo a melhoria no desempenho, fator chave no esporte de alto rendimento (BUENO JÚNIOR; PEREIRA, 2010; BOONE *et al*., 2017; COELHO *et al*., 2019). Entre os genes estudados no contexto esportivo, o *ACTN3* tem sido investigado em atletas do Brasil, Espanha, Turquia, África do Sul e Itália, o qual foi sugerido que atletas com perfil genético XX apresentam melhor desempenho em resistência e maior estado catabólico e dano muscular ao serem submetidos a treinamento excêntrico quando comparado a indivíduos RR e RX que, apresentam melhor desempenho em ações de força e velocidade e além disso, a capacidade de força, tem se tornado fator decisivo para o alto rendimento em atletas profissionais, sendo a α-actinina-3 uma proteína fundamental no processo desta produção, transferência de força e manutenção das estruturas miofibrilares (BORGHI *et al*., 2021; MASSIDDA *et al*, 2015; PIMENTA *et al*., 2013; PIMENTA *et al*., 2012;).

O monitoramento destas ações mecânicas realizadas por atletas de futebol é devido o surgimento de novas tecnologias o Sistema de Posicionamento Global (GPS), porém, o uso da tecnologia de GPS por atletas de futebol, em partidas oficiais, foi iniciado em 2015 após liberação da Federação Internacional de Futebol (FIFA), possibilitando os treinadores receber informações objetivas sobre o perfil de deslocamento dos atletas, quantificar as cargas e compreender as demandas físicas e fisiológicas do jogo (CALDEIRA *et al*., 2022; SÁNCHEZ-SÁNCHEZ *et al*., 2021; SCHULZE; JULIAN; SKORSKI, 2021). Com o avanço das ciências do esporte, outros métodos inovadores têm sido desenvolvidos e aprimorados para um melhor

controle das cargas de treinamento e prevenção das lesões musculares no futebol. Dentre estes estes métodos, a Termografia Infravermelha (TRI) vem ganhando espaço no meio esportivo pois possibilita obter o panorama de regiões específicas para análise da temperatura da pele, criação do perfil térmico individualizado e esclarecimento agudo e/ou crônico de micro lesões e processos inflamatórios após sessões de treinamento e/ou partidas, sendo considerado um método confiável, não invasivo e adequado para avaliação do quadro clínico em grupos musculares, se tornando importante na providência de possíveis impactos econômicos (RODRIGUES JÚNIOR *et al*., 2021; RODRIGUEZ-SANZ *et al*., 2017; CÔGO *et al*., 2017).

No futebol não foi identificado estudos que investigaram a possível associação entre o gene *ACTN3* com a resposta termográfica de membros inferiores de atletas de futebol em partidas oficiais. Dessa forma, o projeto tem por problema de pesquisa, verificar qual a associação do polimorfismo genético do gene *ACTN3* (R577X) (rs1815739) com as respostas termográficas de membros inferiores em atletas de futebol Sub-20 em competição?

1.1 Objetivos

Verificar associação do polimorfismo genético *ACTN3* com as respostas termográficas de membros inferiores de atletas de futebol Sub-20 24horas e 48horas após partidas durante o período de jogos seriados.

1.2 Hipóteses

H0: Não é esperado diferenças de temperatura da pele nas regiões de interesse nos genótipos RR, RX e XX nos momentos 24horas após partida.

H1 a: Espera-se que atletas com genótipos RR e RX apresentem menor temperatura nos membros inferiores no momento 24horas e 48horas após partidas.

H1 b: Espera-se que atletas com genótipos RR e RX apresentem menor temperatura nos membros inferiores no momento 48horas após partidas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

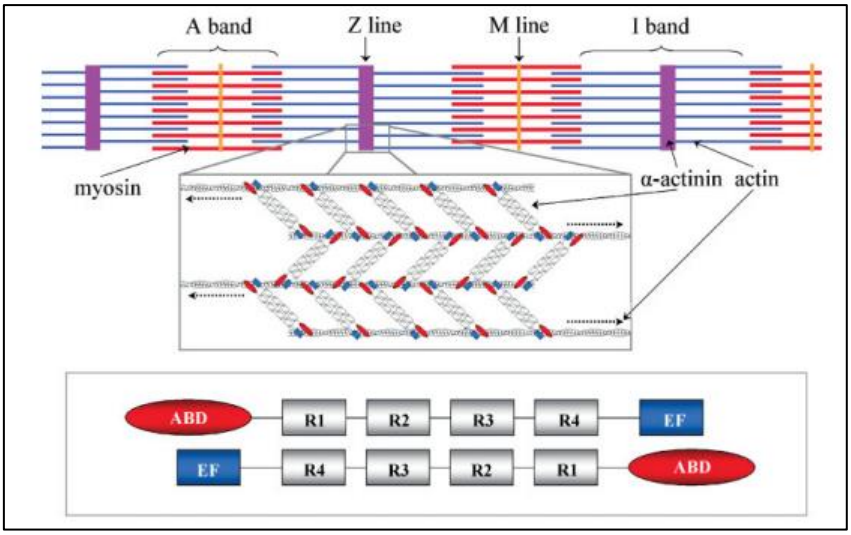
Na busca da melhor descrição dos temas abordados na dissertação, esta revisão de literatura vai discorrer sobre: gene *ACTN3*; termografia infravermelha no esporte; variáveis mecânicas;

2.1 GENE *ACTN3*

Os cromossomos possuem sequências de DNA semelhantes em determinadas regiões cromossômicas mesmo em indivíduos diferentes, dessa forma, se a frequência de uma variante é superior a 1% dos alelos na população mundial, esta é considerada um polimorfismo genético, os quais são responsáveis por modular as respostas frente a estímulos externos e podem ser divididos em: tandem, deleções, inserções, duplicações e alterações de uma base (Polimorfismo de Nucleotídeo Único – SNP) (NUSSBAUM; MCINESS; WILLARD, 2002; PRUNA *et al*., 2017). A era pós genômica contribuiu para uma melhor compreensão das influências genéticas no desempenho físico, dentre estas, o polimorfismo do gene alfa actinina 3 (*ACTN3)* que se mostrou influenciar no desempenho atlético e na funcionalidade da musculatura esquelética (MACARTHUR; NORTH, 2007; YANG *et al*., 2007).

As alfas actininas são proteínas de ligação à actina, codificadas por uma família multigênica que podem ser divididas em α-actinina-1 (ACTN1), α-actinina-2 (ACTN2), α-actinina-3 (ACTN3) e α-actinina-4 (ACTN4), porém, no músculo esquelético encontra-se somente as α-actinas-2 e -3, que são codificadas pelos genes *ACTN2* e *ACTN3* nos cromossomos 1q42-q43 e 11q13-q14, respectivamente e podem servir de suporte estrutural durante as contrações musculares (HOUWELING *et al*., 2017; NORTH *et al*, 1999; BEGGS *et al*., 1992). A ACTN3 deriva da transversão de uma base C (citosina) para T (timina) na posição 1.747 no éxon 16, ocasionando a conversão da base A (arginina) em um códon de parada no resíduo 577 (R577X) (NORTH *et al*., 1999; MACARTHUR; NORTH, 2004). A α-actinina é um componente proteico interno à linha Z do sarcômero, que compõem o aparato contrátil da musculatura esquelética, sendo composto por ordenados filamentos de actinas (estrutura fina) e filamentos de miosina (estrutura grossa) que juntos, atuam na manutenção do sistema contrátil em ações de alta intensidade como levantamento de peso e corridas, podendo assim, influenciar tanto na ação mecânica como na interação com proteínas atuantes em vias metabólicas e de sinalização (MACARTHUR; NORTH, 2004; MACARTHUR; NORTH, 2007; NORTH, 2008). A estrutura do sarcômero é demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura do sarcômero



Estes filamentos, são compostos por um domínio de ligação á actina (ABD, do inglês *actin-binding domain*) que demonstra a força de sua conservação ao longo da evolução, sendo formado por dois domínios homólogos à calponina (CH, *calponina homolog domain*) que possibilitam a alta afinidade com actina; uma haste central composta de repetições semelhantes a espectrina (SLRs) com função na formação de dímeros, ligação com proteínas estruturais e sinalização os quais foram se alterando ao longo do processo evolutivo e; uma região C-terminal a qual contém sítio de ligações EF, que é considerado o local de divergência funcional mais caraterísticos entre as isoformas.

Fonte: Macarthur; North, 2004

Acredita-se que a sobreposição da função da α-actinina-3 por α-actinina-2 em humanos parecer ser recente ainda que, ambas proteínas possuam estrutura e função similares, com expressão gênica distintas espacialmente e temporalmente durante o processo embrionário (NORTH *et al*., 1999; MILLS *et al*., 2001). Possivelmente, pode ter ocorrido um processo de perda no número de cópias dos genes da alfa actinina durante a evolução humana, isso é explicado devido, a demanda energética do músculo estriado esquelético por meio da combinação do processo eficaz de contração muscular e resistência à fadiga possuírem relação direta com a sobrevivência no âmbito evolutivo (MILLS *et al*., 2001). A diversidade funcional evidenciada dentro da família α-actinina foi possível devido divergência evolutiva, duplicação de genes e *splicing* alternativo (MACARTHUR; NORTH, 2004).

O gene *ACTN3* possui duas variações alélicas, a 577R que é a versão funcional (selvagem) e o 577X que é não funcional (nulo) que, devido a herança genética possibilitou a formação dos genótipos RR, RX ou XX, o último caracterizando-se pela deficiência total na produção de α-actina-3 no músculo esquelético (NORTH *et al*., 1999). O alelo mutante (577X) da *ACTN3* surgiu em humanos, apresenta distribuição entre 16% e 18% na população mundial

e possivelmente é resultado de uma única mutação entre humanos e chipanzés, sendo caracterizada por não possuir relação de causa-efeito com doenças musculares ou patogenias em humanos (NORTH *et al*., 1999; MILLS *et al*., 2001; MACARTHUR; NORTH, 2007).

Atualmente, diversos estudos apontam que genótipos do *ACTN3* impactam na resposta ao treinamento, doença e suscetibilidade a doenças musculares e lesões (MURTAGH *et al*., 2020; LIMA *et al*., 2015; KHANAL *et al*., 2021; GUTIÉRREZ-HELLÍN *et al*., 2021; RODAS *et al*., 2021).

2.1.1 Deficiência da α-actinina 3 no modelo animal

Foi relatado que as isoformas da α-actinina foram investigadas em bolor limoso, chipanzés, mosca da fruta, frangos, camundongos e humanos (MILLS *et al*., 2001; MACARTHUR; NORTH, 2004; MACARTHUR *et al*., 2007; MACARTHUR *et al*., 2008; CLOS *et al*., 2021).

A cadeia pesada de miosina (do inglês, *Myosin Heavy Chain* - MyHC) possibilita em camundongos, a constituição de quatro tipos de fibras musculares, a saber: Tipos 1, 2A, 2B e 2X, porém, a α-actinina-3 em camundongos está presente em fibras 2B (SCHIAFFINO, 2010; LEE *et al*., 2016). Foi verificado que em camundongos *knouckout*, assim como em humanos XX, a ausência da expressão de α-actinina-3 e presença da proteína α-actinina-2 em todos os tipos de fibra, porém, a maior expressão de α-actinina-2 parece compensar a ausência de α-actinina-3 (MACARTHUR *et al*., 2007; SETO *et al*., 2013; LEE *et al*., 2016).

Ao analisar a morfologia muscular, foi identificado que camundongos do tipo selvagem são semelhantes ao *KO*, além disso, camundongos *KO* apresentaram sarcômero normal e melhor recuperação da fadiga, no entanto, diferenças na capacidade muscular foram identificadas, pois, os machos apresentaram redução de 7,4% e fêmeas 6% na força de preensão; redução de 4% na capacidade de geração de força; aumento da enzima oxidativa no músculo em razão do aumento absoluto na atividade da enzima mitocondrial; tempo mais longo de semi-relaxamento de contração; menor peso corporal e; menor massa muscular devido a redução do diâmetro de fibras glicolíticas rápidas, mais precisamente na área da secção transversa, porém, houve um aumento da atividade de enzima metabólica em fibras de contração lenta ao serem submetidos a testes de natureza oxidativa (via aeróbia), obtendo resultados superiores próximos de 33%, quando comparados a homozigotos selvagem (MACARTHUR *et al*., 2007; MACARTHUR *et al*., 2008).

Resultados semelhantes foram encontrados ao realizado investigação com camundongos *KO* machos e fêmeas nos períodos de 2, 6, 12 e 18 meses de vida, constatando que o déficit da α-actinina 3 pode resultar no aumento do metabolismo oxidativo, aumento da recuperação da força após fadiga, ocasionar redução da massa muscular e consequentemente, redução mais acentuada do potencial de força com o aumento da idade (SETO *et al*., 2011). Além disto, camundongos *KO* treinados apresentam um fenótipo mais desenvolvido para ações de resistência, pois apresentaram uma distância percorrida 3,3 vezes maior quando comparado ao *KO* controle (SETO *et al*., 2013).

2.1.2 Aspectos estruturais, metabólicos e de sinalização na deficiência da α-actinina 3

As α-actininas-2 e -3 são proteínas adaptadoras que interagem com muitas proteínas estruturais, de sinalização e metabólicas (LEE *et al*., 2016). Camundongos *KO*, apresentaram aumento na atividade da enzima oxidativa em decorrência da alteração no metabolismo de suas fibras, além disto, foi constatado aumento do conteúdo mitocondrial e, quando convertido o piruvato em lactato desidrogenase (LDH) apresentaram níveis de LDH 16% maior, entretanto, após conversão em fibras lentas, o processo foi mais eficiente, com 33% menor para a enzima citrato sintase quando comparados com genótipo selvagem (MACARTHUR *et al*., 2007).

Corroborando com esse achado, foi identificado que camundongos *KO* apresentaram alteração estrutural nas propriedades das fibras rápidas para fibras lentas, porém, não é identificado alterações no tipo de fibra, além disto, a produção de adenosina trifosfato (ATP) em fibras tipo 2B em camundongos é realizada via sistema anaeróbico, onde a glicose é convertida em lactado e ao final do processo é catalisada pela enzima lactato desidrogenase (LDH) (LEE *et al*., 2016). Ratificando tais achados, foi identificado que, enzimas das vias glicolítica e mitocondrial que estão envolvidas na cadeia de transporte de elétrons e oxidação de ácidos graxos, tiverem níveis maiores em camundongos *KO* (MACARTHUR *et al*., 2007; MACARTHUR *et al*., 2008; LEE *et al*., 2016).

Fibras musculares rápidas utilizam como fonte de energia para contrações musculares, o glicogênio muscular e foi identificado que os níveis do conteúdo de glicogênio muscular foram maiores em camundongos *KO*, apesar do baixo nível e reduzida atividade da enzima glicogênio fosforilase (LEE *et al*., 2016; QUINLAN *et al*., 2010). Ao encontro deste resultado, foi investigado as vias de sinalização em camundongos KO para calcarcina-2. A calcarcina é uma família de proteínas de ligação a calcineurina, específicas do músculo esquelético, além disto, por estarem localizadas na linha Z, possuem redes de interação com a α-actinina e devido

a sinalização da calcineurina/NFAT (fator nuclear de células T), a calcarcina-2 possui função essencial na regulação da composição do tipo de fibra e tolerância do exercício no músculo esquelético pois, camundongos *KO* apresentaram menor peso corporal e massa muscular, predominância de fibras oxidativas e maior distância percorrida em teste de corrida (FREY *et al*., 2008). A sinalização de calcineurina mostrou ser maior em camundongos *KO*, devido ao elevado nível do regulador RCAN-1 (SETO *et al*., 2013).

A calsarcina possui potencial de interação com muitas proteínas da linha Z incluindo as α-actininas, ZASP, teletonina, γ-filamina e miotilina, esse potencial possibilita a ligação entre a calcineurina e a α-actinina na linha Z do músculo esquelético, além disto, a calsarcina apresenta duas subunidades e cinco isoformas, sendo: subunidade A (isoformas α, β e γ) e subunidade B (isoformas B1 e B2) (WILLIAMS; JOHNSON, 2021; FREY *et al*., 2000; FREY *et al*., 2008). A calsarcina possui papel importante na modulação e especificidade de substrato das células musculares estriadas, podendo ser divididas em calsarcina-1 (também chamada de miozenina-2 ou FATZ-2) que está presente no coração e em fibras de contração lenta do músculo esquelético, ou calsarcina-2 (também chamada de miozenina-3 ou FATZ-3), estando presente em fibras de contração rápida, assim com a α-actinina-3 e atua como inibidor da atividade da calcineurina (FREY *et al*., 2000; FREY *et al.*, 2008; SPONGA *et al*., 2021).

Foi identificado maior taxa de liberação e absorção de cálcio (Ca^{2+}) pelo reticulo sarcoplasmático em *KO*, possibilitando mais resistência a fadiga em razão da redução mais lenta de Ca^{2+} após estimulação das fibras (HEAD *et al*., 2015). Esse processo é possível devido a expressão aumentada de ATPase 1 de cálcio do retículo sarcoplasmático (SERCA1) que possibilitam maior taxa de libração de Ca^{2+} no retículo sarcoplasmático, maior consumo de energia e geração de calor e as proteínas de ligação calsequestrina e sarcalumenina que possibilitam maior absorção de Ca^{2+} no lúmen do retículo sarcoplasmático (HEAD *et al*., 2015).

A associação da calsarcina com a calcineurina é identificada a partir do momento que esta serve de ancoragem da calcineurina na linha Z, atuando como inibidor ou ativador, podendo servir de substrato para a desfosforilazação da calcineurina (FREY *et al*., 2000). A calsarcina 2 possui interação inversamente proporcional entre calcineurina e α-actinina 2, já entre as isoformas da α-actinina, a predominância de interação está com α-actinina 2, além disto, sua função não possui dependência com os níveis de calcineurina, ou seja, não é alterada em músculos deficientes de alfa-actinina-3 (QUINLAN *et al*., 2010; LEE *et al*., 2016; SPONGA *et al*., 2021). A sinalização aumentada de calcineurina possui relação direta com a α-actinina 2 no

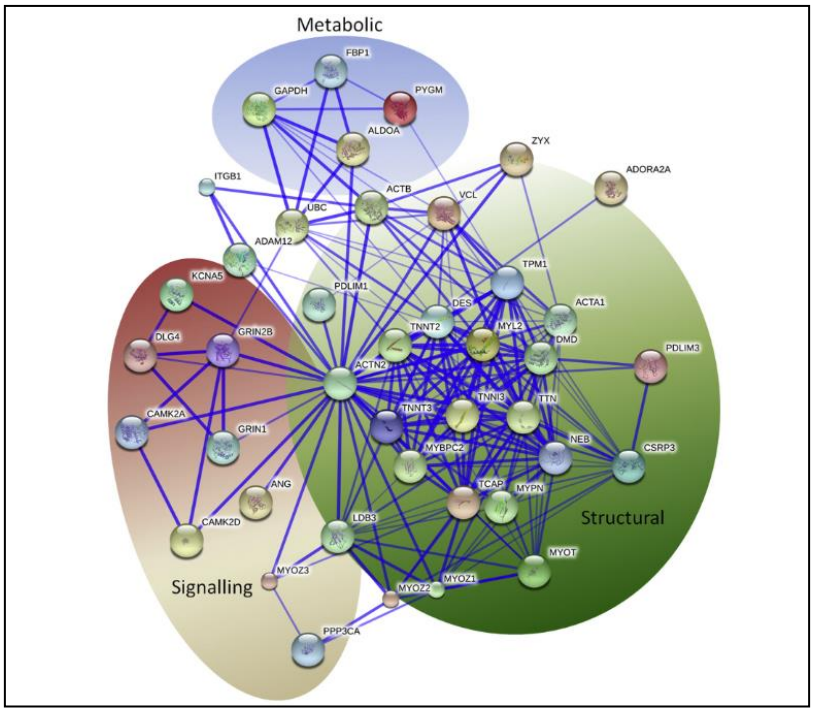
músculo *KO*, onde sua interação com a calsarcina-2 ocasiona alteração no metabolismo das fibras glicolíticas para fibras oxidativas (QUINLAN *et al*., 2010).

2.1.3 Alterações estruturais atribuídos a deficiência da α-actinina 3

As α-actininas se ligam a proteínas como actina, nebulina, tropomiosina, troponina e distrofina, além dessas, existe uma rede de interação entre proteínas localizadas no disco Z de músculos com déficit de α-actinina-3, que determinam a estabilidade e rigidez do disco Z, entre estas, podemos citar: γ-filamina, titina, vinculina, miotilina, desmina e ZASP (SETO *et al*., 2011; HOUWELING, P.; NORTH, 2009). Na

Figura 2 é mostrado a rede de interação da α-actinina-2.

Figura 2 - Rede de interação da α-actinina-2



É possível ver a rede de interação da α-actinina-2, onde a espessura da linha demonstra a intensidade da interação. **Fonte**: LEE *et al*., 2016

Essas proteínas quando acometidas por alteração de algum nucleotídeo, sucedem o surgimento de um códon que codifica um aminoácido diferente, ocasionando uma condição de miopatia miofibrilar que possui fenótipos clínicos e patológicos comuns e são um grupo de doenças neuromusculares progressivas hereditárias raras com início tardio (LEE *et al*., 2016;

HOUWELING; NORTH, 2009). Outros distúrbios acometidos foram relatados incluindo a sarcopenia, cardiomiopatia dilatada, miopatia nemalínica, distrofia muscular de Duchenne (KHANAL *et al*., 2021; HOUWELING; NORTH, 2009).

As α-actininas sarcoméricas podem sofrer impactos devido a capacidade de ligação a proteínas na linha Z, ou seja, a maior capacidade de interação entre proteína-proteína pode ocasionar, consequentemente, diferenças entre as α-actininas sarcoméricas, resultando em composição alterada dessa proteína na linha Z, dessa forma, mesmo as α-actininas-2 e -3 possuindo interação específica com diferentes substratos, com a substituição da α-actinina-2 por α-actinina-3, haveria redução da eficiência em realizar a produção de proteínas, devido interação menos potente com os substratos energéticos envolvidos (LEE *et al*., 2016).

As α-actininas e o glicogênio fosforilase localizam-se na linha Z tanto em músculos com ausência ou presença de α-actinina-3, além disto, diversos efeitos metabólicos aparecem concomitantemente na ausência de α-actinina-3 (QUINLAN *et al*., 2010). O glicogênio fosforilase apresentou níveis diferentes quando analisado em grupos musculares com presença e ausência de α-actinina-3, sendo maior em músculos *KO*, além disto, devido ao aumento no nível ou atividade da enzima reguladora de síntese do glicogênio e redução no nível ou atividade da enzina reguladora da degradação de glicogênio, é identificado atividade reduzida de glicogênio em músculos com ausência da α-actinina 3 (QUINLAN *et al*., 2010).

2.1.4 Futebol e α-actinina 3

O desenvolvimento da ciência e da tecnologia pode modificar a maneira que atletas de futebol são submetidos a programas de treinamento e isso foi possível após a conclusão do Mapa do Genoma Humano (HGM) (LA MONTAGNA *et al*., 2020; WEI QI, 2021). O campo científico tem buscado realizar inúmeras pesquisas com o intuito de melhorar a compreensão dos genes atuantes no desempenho esportivo, muitos desses estudos objetivam a pesquisa de genes separadamente e em populações distintas, resultando na criação de um banco de dados genômicos, além disso, a genética pode além de influenciar na performance esportiva, auxiliar no processo da adaptação ao treinamento e o desenvolvimento de pesquisas tem mostrado que existem outros polimorfismos genéticos que assumem papel importante também na performance física de atletas de futebol (ULUCAN *et al*., 2015; GINEVICIENE *et al*., 2014; PIMENTA *et al*., 2012). Devido as inúmeras e diferenciadas sessões de treinamento realizadas por atletas de alto rendimento, torna-se fundamental o conhecimento numa perspectiva individual, tendo o princípio da individualidade biológica e a variação genética importantes

fatores para o desempenho em competições, pois apesar da determinação exata dos polimorfismos genéticos ainda ser complexa de se explicar, suas contribuições já são evidentes podendo influenciar o contexto ambiental do atleta (PIMENTA *et al*., 2013; CIESZCZYK *et al*., 2011).

A busca pela performance cada vez mais competitiva em escala individual e coletiva no futebol, o fato de ser o esporte mais praticado nos países da América do Sul e Europa e o atual calendário competitivo com um número elevado de jogos e competições ocasionando acúmulo de esforços físicos num contexto de curtos períodos de recuperação, fez com que programas de treinamento fossem desenvolvidos baseados em estudos científicos e nos aspectos fisiológicos da modalidade (COELHO *et al*., 2019).

O desempenho esportivo é indiscutivelmente, multifatorial, podendo ser dividido a partir de parâmetros internos, relacionado às características próprias do indivíduo ou externos relacionados ao desenvolvimento de tecnologias, porém, ambos podem exercer influência no desempenho esportivo de atleta (SUPEJ; SPÖRRI, 2021). Nesta perspectiva, os polimorfismos genéticos da α-actinina podem influenciar nas ações de potência e velocidade, ressaltando a importância na busca dos diversos fatores que possam auxiliar no desempenho de atletas de futebol onde as ações de força/potência são decorrentes de processos eficientes das fibras musculares de contração rápida e provavelmente o déficit da α-actinina-3 pode influenciar na efetividade das fibras de contração rápida, além disso, polimorfismos genéticos orientados para resistência podem otimizar a performance atlética em ações de longa duração em baixa ou moderada intensidade (SALGUEIROSA, 2013; MASSIDDA *et al*., 2012). Clubes de futebol ao realizarem a genotipagem de seus atletas poderão criar seu próprio banco de dados genômico, contribuindo para a otimização de treinamento, conhecimento das respostas físicas e fisiológica, controle de cargas de treinamento, melhor direcionamento posicional e funcional dos atletas e maior conhecimento deste (CLOS *et al*., 2021).

No futebol alguns estudos investigaram a associação do polimorfismo *ACTN3* com o desempenho (SANTIAGO *et al*., 2008; MASSIDDA *et al*. 2012; PIMENTA *et al*., 2012; PIMENTA *et al*., 2013; COELHO *et al*., 2016), parâmetros cardíacos e hemodinâmicos (DIONÍSIO *et al*., 2017), dano muscular e resposta hormonal (COELHO *et al*., 2019).

Geralmente indivíduos heterozigotos (genótipos RX) possuem um perfil fenotípico mais adequado para esta prática pela possibilidade do fenótipo força-resistência, possibilitando uma maior economia de energia em razão do deslocamento em longo prazo (PASQUA *et al*., 2016; COELHO *et. al*., 2019). A avaliação da expressão do *ACTN3* associada a força explosiva pode ser um fator importante de análise em atletas de futebol, onde os diferentes genótipos podem

influenciar no potencial desta capacidade física com até 6% de diferença (DOMANSKA-SENDEROWSKA *et al*., 2019).

Atualmente, a rotina de treinamentos e competições expõe os atletas a elevados níveis de estresse físico que resultam em diversas reações de sobrecarga que ao serem identificadas de maneira precoce, possibilitam tratamento adequado, além do mais, a compreensão das respostas fisiológicas nesses contextos possibilita maior número de informações sobre os atletas, podendo auxiliar no direcionamento das cargas de treinamento adequado, entretanto, esse processo só é possível em razão do desenvolvimento de novas tecnologias, como a termografia infravermelha (MARINS *et al*., 2014; CÔRTE; HERNADEZ, 2016).

2.2 **TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (TRI)**

A pele humana funciona como barreira biológica protegendo o corpo dos perigos ambientais e mantendo o equilíbrio térmico, logo, um dos indicadores de saúde é a temperatura corporal, a qual o ser humano possui a capacidade de manter constante e independente do meio ambiente com valores entre 33°C e 42°C, tendo sua temperatura superficial corporal expressa por um mapa complexo de faixas de temperatura sendo influenciada por fatores internos e externos que alteram o padrão térmico e o aumento da temperatura interna local pode influenciar na temperatura superficial (FERNANDES *et al*., 2018; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al*., 2015).

Para o uso adequado da TRI citada anteriormente, é necessário o estabelecimento de um padrão térmico e ausência de patologias, favorecendo eficientes interpretações dos dados termográficos, sabendo que, alterações abaixo de 27°C estão relacionadas a condições de hipotermia e alterações acima de 33°C são classificadas como condições de hipertermia, porém, no contexto esportivo em ambas as condições, é indicado redução da carga de treinamento, podendo ocorrer suspensão das atividades e avaliação médica e fisioterapêutica (MARINS *et al*., 2014).

A TRI é um método que, por meio da sua quantificação pode possibilitar o monitoramento do calor superficial da pele e consequentemente, a medição de forma indireta da magnitude do processo inflamatório resultante do dano muscular originado pelo exercício por meio do aumento da Tp (ALBURQUERQUE SANTANA *et al*., 2022). Esse método pode ser impactado por fatores desde ambientais, individuais e técnicos, sendo estes, responsáveis por reduções dos erros de medidas e da variabilidade deste erro e ainda, nas melhorias da

reprodutibilidade de medidas (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al*., 2015; QUESADA; CARPER, 2019).

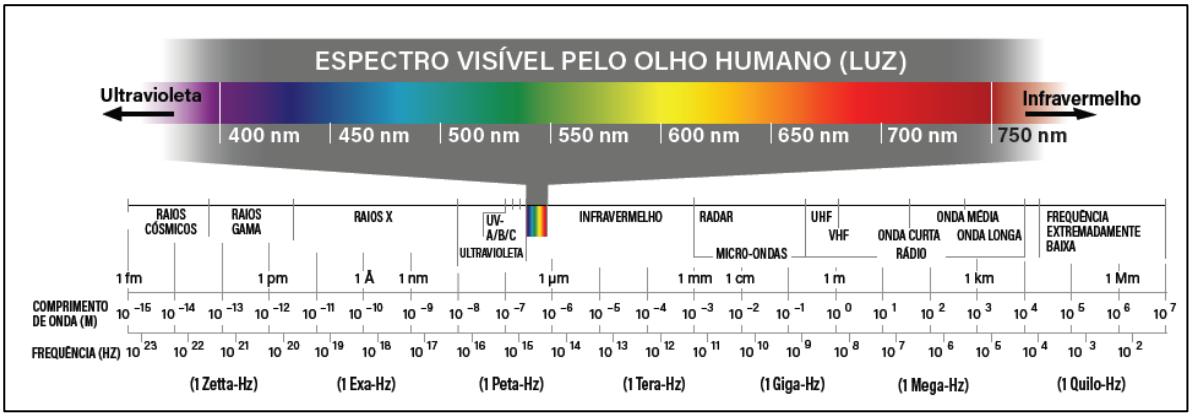
Determinados grupos musculares não priorizados durante exercício, pode ocasionar um estado de treinamento reduzido e, consequentemente, um estado de fadiga é atingido mais rapidamente, ocasionando aumento de temperaturas mais elevado, entretanto, em atletas, por serem bem treinados, as mudanças adaptativas resultam em menor temperatura interna e maior intensidade de sudorese, dessa forma, a redução da temperatura após o exercício se dá devido a evaporação do suor (DINDORF *et al*., 2022; CHUDECKA *et al*., 2015). Devido esse processo, a sensação de calor percebido está relacionada com o redirecionamento do fluxo sanguíneo arterial par a musculatura excitada, resultando em maior temperatura muscular e maior vasodilatação cutânea local (ALBURQUERQUE SANTANA *et al*., 2022). A TRI tem auxiliado no diagnóstico de desequilíbrios musculares, na redução de lesões musculares entre as temporadas competitivas, auxiliando a comissão técnica e departamento médico das equipes de futebol no gerenciamento das cargas de treinamento após partidas oficiais, possibilitando maior disponibilidade de atletas e possivelmente maior competitividade da equipe durante as competições (DINDORF *et al*., 2022; CÔRTE *et al*., 2019; DE ANDRADE FERNANDES *et al*., 2017).

2.2.1 Princípios físicos norteadores

A temperatura pode ser compreendida como energia cinética média de um corpo onde, quanto maior a movimentação de partículas e energia cinética, maior será sua temperatura (calor) e consequentemente, haverá maior liberação de radiação infravermelha emitida, sendo esse processo ocasionado devido movimentação de átomos e moléculas dos quais os objetos são formados, já o calor é a energia em trânsito que passa em um corpo quente para um corpo frio (QUESADA; CARPES, 2019; QUESADA, 2017). Por meio da radiação e espectro eletromagnético, este representado na

Figura 3, a TRI possibilita registrar a radiação infravermelha (também conhecida como radiação térmica) e a partir daí estimar a temperatura da superfície de corpos e objetos (QUESADA; CARPES, 2019).

Figura 3 - Espectro eletromagnético



A radiação eletromagnética é uma forma de propagação de energia e pode ser quantificada pela amplitude e frequência de diferentes ondas, já o espectro eletromagnético é uma representação de todas as ondas.

Fonte: QUESADA; CARPES (2019)

A seguir será apresentado alguns princípios físicos que norteiam o cálculo da temperatura, a partir da radiação infravermelha.

A primeira lei da física que norteia a termografia foi desenvolvida por Stefan-Boltzmann a qual cita que, a medida energia térmica liberada pelo corpo aumenta, a temperatura eleva-se à quarta potência (DAHMEN, 2006). Esta é expressa pela expressão abaixo.

$$P = Є.\sigma.A.T^4$$

Onde:

P: Potência total, taxa de energia liberada por unidade de área [Wm^{-2}];

Є: Emissividade;

σ: Constante = 5,67 x 10-8 [$WM^{-2}K^{-4}$];

A = Área da superfície do corpo irradiador;

T: Temperatura absoluta em graus [K].

Essa lei nos possibilita compreender que, pelo fato da temperatura ser expressa à quarta potência, grandes mudanças na quantidade de energia emitida por um corpo podem ser

ocasionadas por pequenas variações na temperatura (QUESADA *et al*., 2016). Além disto, é possível compreender a elevada sensibilidade das câmeras termográficas e a capacidade de um corpo em emitir energia por radiação da sua superfície (QUESADA; CARPES, 2019).

Aliado a estas lei, alguns atributos ajudam a entender a importância do conhecimento das características radiativas de cada corpo, para saber se é possível medir sua temperatura por infravermelho, sendo estes: absortividade (capacidade do corpo em absorver a radiação infravermelha); emissividade (capacidade de emitir sua própria radiação infravermelha); refletividade (capacidade de refletir a radiação infravermelha) e; transmissividade (capacidade de deixar a radiação passar por seu corpo) (QUESADA; CARPES, 2019). Porém, alguns pressupostos para o cálculo da temperatura de um corpo são necessários, a saber: transmissividade seja zero, emissividade esteja mais próximo de 1 e baixa refletividade (QUESADA; CARPES, 2019).

Outra lei importante é a lei de Wien que cita, o comprimento de onda de um corpo a partir da liberação de sua energia é inversamente proporcional à sua temperatura, ou seja, quanto mais quente um corpo, maior será o comprimento da onda (FELDENS *et al*., 2010). Esta é expressa pela equação abaixo.

$$\lambda máx = \alpha * 1 / T$$

Onde:

λmáx: Comprimento de onda (m) onde a intensidade da radiação eletromagnética é a máxima;

T: Temperatura do corpo negro em kelvin [K];

b: Constante de proporcionalidade, 2.8977685×10^{-3}.

Outra lei que norteia a termografia é a Lei de Planck que cita, todo corpo emite espectro de radiação e que cada comprimento de onda possui temperatura específica (FIELD *et al*., 2009). Esta é expressa pela equação abaixo.

$$\rho(\lambda = (2\pi hc^2\lambda^5) / (e^{hc\ IkT^{-1}})$$

Onde:

λ: Comprimento de onda da radiação emitida; T: Temperatura [K];

ρ(λ): Radiância para cada comprimento de onda, medida em [W/m2 .m] (energia por unidade de tempo, por unidade de área e por unidade de comprimento de onda);

h: Constante 6,63 × 10-34 J·s;

c: Constante 3,00 × 10-8 m/s;

k: Constante 1,38 × 10-23 J/K.

2.2.2 Variáveis de intervenção

Contendo características qualitativa e quantitativas, a TRI é caracterizada como método indolor e livre de radiação, possibilitando intervenção com segurança e o monitoramento simultâneo de grandes áreas, podendo ser realizada de forma remota, irrestrita, não invasiva e ausente de contato com o atleta, além disso, os termogramas coloridos facilitam e agilizam a interpretação, fornecendo informações sobre o processo fisiológico dos tecidos, possibilitando o auxílio no controle da carga de treinamento e na disposição de informações sobre o momento de vascularização e evolução de tratamentos (LAHIRI *et al*., 2012; BARCELOS *et al*., 2014; CÔRTE; HERNADEZ, 2016; FERNANDES *et al*., 2017; DE CARVALHO *et al*., 2021; VIEIRA *et al*., 2021).

A TRI pode ser impactada por alguns fatores ambientais e individuais que podem exercer influência nos resultados do exame. Os fatores ambientais são mais controláveis quando comparados aos fatores individuais, que possuem características mais complexas tornando impossível de controlá-los em sua totalidade e podem ser divididos em intrínsecos quando se refere a natureza ou o estado de longo prazo do indivíduo e extrínsecos que são externos ao indivíduo, temporais e relacionados aos hábitos pessoais ou atividades físicas diárias (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al*., 2015). Alguns desses fatores são: controle da temperatura ambiente, medidas da sala de coleta, fluxo de ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e radiação, protocolos adotados no momento de coleta dos dados, câmera termográfica, campo de visão instantâneo, software, análise estatística, sexo, idade, antropometria, suor, ritmo circadiano, emissividade da pele, uso de medicamentos, prática de exercícios físicos e percentual de gordura (BANDEIRA *et al*., 2012; LAHIRI *et al*., 2012; CHUDECKA *et al*., 2015; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al*., 2015; CÔRTE; HERNADEZ, 2016; QUESADA *et al*., 2016; MACHADO *et al*., 2021).

Com o desenvolvimento de tecnologias a disponibilidade de câmeras termográficas com valores acessíveis, tem contribuído para a popularidade da TRI, apesar de alguns modelos fornecem imagens que levam menor tempo de análise e maior percepção subjetiva de esforço

no processamento de dados (MACHADO *et al*., 2021). A qualidade dos termogramas tem relação direta com a qualidade da câmera termográfica, mais precisamente com a quantidade de pixels, pois, cada pixel fornece um dado térmico, dessa forma, um maior número de pixels/resolução possibilita maior quantidade de dados térmicos, isto se torna importante desde o cálculo de valores médios em pequenas regiões até a determinação de pontos quentes nos termogramas (QUESADA; CARPER, 2019).

A temperatura ambiente é outro importante fator a ser considerado pois tem influência direta no corpo a ser medido e se possível deve ser mantida para todas as medições, já a umidade relativa tem importância com o aumento da distância entre a câmera e a região de interesse pois, a longa distância ocasionará na absorção da radiação infravermelha resultado em medidas possivelmente subestimadas da real, entretanto, pode não ocorrer o mesmo para distâncias curtas e umidade relativa moderada, ou seja, entre 40% e 70% (QUESADA; CARPER, 2019). Aliado a isso, o período de aclimatação possui relevante impacto, pois, períodos demasiados podem influenciar na redução elevada da temperatura, gerando condição hipotérmica, ou seja, a aclimatação possibilita o equilíbrio térmico, sendo este explicado pelos mecanismos da transferência de calor. Por fim, a condução, um dos mecanismos que explicam a transferência de calor, explica a importância da vestimenta utilizada no momento do exame pois, a transferência de calor por meio da condução é possível entre o corpo humano e a vestimenta (QUESADA, 2017). Dessa forma, é compreensível que um menor volume de roupa, como sunga, seja mais adequado no momento do exame.

Um outro fator considerado recentemente é o sexo, pois, pode haver um efeito dependente desta variável na análise das mudanças de Tp em resposta ao exercício (DA SILVA *et al*., 2021).

2.2.3 Estudos de associação e métodos de análise

As diferentes modalidades esportivas podem apresentar padrões de movimentos específicos, sendo o tipo de dominância, condição importante para impactar na sobrecarga em determinadas regiões levando a ocorrência de perfil térmico singular, como por exemplo, foi identificado que exercícios pliométricos podem ocasionar em maiores temperaturas na região anterior da coxa, quando comparados a exercícios aeróbicos e que, a aplicação de exercícios como saltos pliométricos para adultos fisicamente ativos pode ocasionar em aumentos da Tp na zona quente devido ao calor produzido (ALBURQUERQUE SANTANA *et al*., 2022; SILVA *et al*., 2017; MARINS *et al*., 2014). Além disso, a TRI aplicada ao exercício poderia auxiliar

na melhoria da técnica de monitoramento e coordenação motora, devido sua precisão na identificação de assimetrias térmicas, possibilitando a identificação de quais grupos musculares estão ativos em determinado movimento (CHUDECKA *et al*., 2015).

Recentemente, foi descoberto que devido ao efeito crônico dos processos inflamatórios locais, atletas de futebol que percorrem maiores distâncias (km) ao longo de uma temporada competitiva, podem apresentar durante a análise dos membros inferiores na visão anterior, maior número de pixels na zona quente quando comparado à visão posterior (RODRIGUES JÚNIOR *et al*., 2021). Dessa forma, a TRI associada ao GPS possibilita esclarecimento sobre a resposta integrada e global de cada estímulo aplicado (ARNAIZ-LASTRAS *et al*., 2014). Quando correlacionada a biomarcadores, a TRI associada a níveis séricos de creatina quinase (CK) e lactato desidrogenase (LDH) possibilitou a obtenção de informações sobre a localidade e intensidade do dano muscular e processo inflamatório (BANDEIRA *et al*., 2014). Além disso, quando o monitoramento do dano muscular é realizado por TRI, biomarcadores (PCR, CK e cortisol sanguíneo) e testes musculares, aumenta-se a qualidade das análises e entendimento do jogo, permitindo obter informações sobre o treinamento com carga, relação entre assimetrias de força com Tp e compreensão de períodos adequados para recuperação completa após partida (RODRIGUES JÚNIOR *et al*., 2021; DUARTE *et al*., 2022).

Devido a evolução do futebol e consequentemente da demanda física, muitos testes são realizados de forma rotineira com objetivo de controle do treinamento, entretanto, é necessário cautela na aplicação de cargas de treinamento após aplicação de testes de potência, pois é evidenciado uma possível redução da taxa de desenvolvimento da força muscular quando realizado testes neuromusculares como CMJ após temporadas competitivas no futebol, isto ocorre também, devido instalação de danos musculares que reduzem o a capacidade de produção de força (RODRIGUES JÚNIOR *et al*., 2021). Além dos estudos citados anteriormente, a TRI tem sido associada a métodos de recuperação como massagem com gelo e imersão em água fria a partir dos resultados de termogramas, que possibilitaram o monitoramento da diminuição da temperatura corporal (ADAMCZYK *et al*., 2016).

Para análise e interpretação de termogramas é necessário métodos para calcular as temperaturas representativas em um determinado segmento corporal que, até 2014, muitas pesquisas apresentavam uma não heterogeneidade destes (LUDWIG *et al*., 2014). Dessa forma, novas pesquisas e métodos de diagnósticos são desenvolvidos constantemente com o intuito de alcançar maior eficiência no treinamento, além disso, as técnicas utilizadas para aquisição dos termogramas impactam nas análises, interpretações e resultados da TRI (MACHADO *et al*., 2021; CHUDECKA *et al*., 2015). Recentemente, foi desenvolvido a Termopixelgrafia (TPG)

que possibilita análise qualitativa e quantitativa a partir da frequência do número de pixels e não por meio de análise da média da Tp (RODRIGUES JÚNIOR *et al*., 2021). Esse método apresenta valor único da Tp e classifica a frequência do número dos pixels em Zonas (fria, neutra e quente) com oito bandas diferentes e suas respectivas temperaturas (DUARTE *et al*., 2022). Objetivando uma avaliação avançada e progressiva de termogramas, foi proposto outro método nomeado de "Método de segmentação e registro de imagens térmicas", combinando segmentação e registro de imagens térmicas ao longo do tempo, ou seja, combinação de recursos de otimização, fator de correção e técnicas de pré-processamento, possibilitando uma melhor segmentação da imagem em comparação com outros métodos (BARCELOS *et al*., 2014). Podemos citar ainda o método ROI (região corporal de interesse) seleciona determinada região por meio de imagens geométricas separando a imagem selecionada para análise do restante conteúdo desta, entretanto, esse método pode apresentar baixa qualidade da medição, extensa duração do exame em virtude da seleção manual das áreas, possíveis distorções geométricas por coordenadas inadequadas, pequenos erros no posicionamento destas geram maior variação nos termogramas, podendo ser ainda maior, quando a resolução da câmera termográfica é menor (MACHADO *et al*., 2021; QUESADA *et al*., 2016; BARCELOS *et al*., 2014).

2.3 **VARIÁVEIS MECÂNICAS**

O jogo de futebol ao longo dos anos tem passado por transformações no seu jogar, sendo evidenciado uma maior demanda do componente força (RAVAGNANI *et al*., 2013). Aliada a esta valência, a habilidade de sprint caracterizada como uma ação que ocorre em alta intensidade, com velocidade igual ou superior a 19km/h, duração de 5 a 6 segundos tendo como sistema energético predominante, a creatina fostato (PCr), tornou-se mais importante no futebol moderno e a capacidade de aperfeiçoamento desta, pode ser a diferença ente ganhar e perder (HAUGEN *et al*., 2020; BRADLEY *et al*., 2010; BORTOLOTTI *et al*., 2010).

A carga de treinamento é a variável de entrada que é manipulada para obtenção das respostas do treinamento desejado, podendo ser dividida em externa e interna, sendo a carga externa compreendida a partir das demandas impostas no processo de treinamento ou competição e são caracterizadas por seu caráter específico para a natureza do treinamento realizado, como distância total, número de sprints e velocidade máxima realizada pelos atletas (ENES *et al*., 2021; IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2019). A quantificação da carga de treinamento e/ou competição tem se mostrado importante na pesquisa, possibilitando

estatísticas mais claras e coleta dados de desempenho mais abrangente como, informações sobre as respostas dos atletas aos estímulos (NOBARI *et al*., 2021a; CLEMENTE *et al*., 2021).

O GPS (do inglês, *Global Positioning System*) foi inicialmente desenvolvido para fins militares, sendo uma tecnologia norteada por satélite (CUMMINS *et al*., 2013). Para utilização do instrumento no futebol, é necessário estar em ambiente aberto onde após ligado, buscará conexões com satélites para determinar a posição do atleta em campo e ao se conectar, as informações começam a serem processadas e devidamente gravadas até o aparelho ser desligado (GODINHO; FIGUEIREDO; VAZ, 2013). Entretanto, o uso dessa tecnologia no esporte deve seguir as especificações do fabricante, pois a alteração da região corporal ou posição indicada pode ocasionar em leituras imprecisas (SCHULZE; JULIAN; SKORSKI, 2021).

Essa tecnologia possui características como tamanho reduzido, peso leve, sem fio, com elevada discrição, alguns são constituídos a partir da combinação de magnetômetros, acelerômetros e giroscópios, além disso, possuem diferentes taxas de amostragem, ou seja, velocidade que a coleta dos dados ocorre que podem ser divididas em 1Hz, 5Hz, 10 Hz e 15 Hz, onde quanto maior a taxa de frequência maior será a validade da coleta (ADESIDA; PAPI; MCGREGOR, 2019; CUMMINS *et al*., 2013). Além disso, no mercado tem sido desenvolvido tecnologias de GPS para rastreamento de ações específicas do futebol, com baixo custo, permitindo maior acessibilidade desta tecnologia às equipes de futebol sub elite (SCHULZE; JULIAN; SKORSKI, 2021). Muitos trabalhos foram desenvolvidos no intuito de validar diferentes modelos de taxa de amostragem desta tecnologia. Em 2011, houve uma validação para o uso do GPS de 10 Hz, demonstrando ser um instrumento seguro e eficiente para medir acelerações, desacelerações e velocidades constantes durante corridas em linha reta e por possuírem sensibilidade para detectar mudanças no desempenho em esportes coletivos (VARLEY *et al*., 2012).

A utilização de zonas de velocidade possibilita a compreensão mais detalhada do perfil de deslocamento, que por sua vez são utilizados para compreender o desempenho dos atletas e aspectos relacionados à configuração de treinamento e partidas (CUMMINS *et al*., 2013). Recentemente, com atletas de futebol profissional, as métricas utilizadas para monitoramento da carga de treinamento e competição foram: distância total semanal, distância total de sprints e distância total de corridas de alta velocidade (NOBARI *et al*., 2022). Outras métricas utilizadas são acelerações, desacelerações, impactos, carga total, velocidade de pico, mudanças de direção laterais e diagonais, corrida para trás e saltos (SCHULZE; JULIAN; SKORSKI, 2021; CALDEIRA *et al*., 2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Cuidados Éticos

O estudo proposto cumpriu as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional em Saúde (2012) resolução 196/96 que envolve pesquisas com seres humanos. e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE). Os voluntários foram informados sobre o objetivo do projeto e consentirão por escrito de estarem cientes que a participação foi voluntária.

Após a autorização dos dirigentes do clube de futebol para a realização do estudo, os voluntários consentiram e ficaram cientes dos procedimentos, benefícios e da participação voluntária por meio do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) (APÊNDICE). A prioridade absoluta do estudo foi preservar a privacidade, a saúde e o bem-estar dos voluntários. Ademais, todos os procedimentos foram acompanhados por profissional qualificado e específico da área para garantir os aspectos relacionados à biossegurança.

3.2 Participantes

A amostra do estudo foi de conveniência, por ser um estudo longitudinal composto por atletas profissionais contratados por clube esportivo, o que inviabilizou e restringiu a possibilidade de um estudo piloto com amostra semelhante. Quatorze atletas de futebol sub-20 (19,0 ± 1 anos; 74,3 ± 7.1 kg; 10,3 ± 2.2 %G; 178,1 ± 6,6 cm; 56,3 ± 3,1 mL.kg-1.min-1) que faziam parte de um clube de futebol de elite brasileiro compuseram a amostra desse estudo. Os participantes mantinham treinamento sistematizado, estavam devidamente registrados na Confederação Brasileira de Futebol (CBF) com pelo menos cinco anos de experiência.

Os critérios de inclusão adotados foram: a) atingiram o mínimo de 65% de minutos jogados nos 12 jogos seriados utilizados na pesquisa. b) não ter consumido nenhum tipo de diurético ou antipirético, ou alimento suplementos, que podem alterar a homeostase da água ou homeostase térmica do corpo, até 2 semanas antes das sessões de estudo; c) não ter histórico de problemas renais; d) não ter febre até 7 dias antes das avaliações. O estudo excluiu os voluntários que tiveram qualquer lesão muscular na região lombar, pelve ou coluna lombar, bem como aquelas que deixarem o clube durante a temporada competitiva.

3.3 Delineamento metodológico

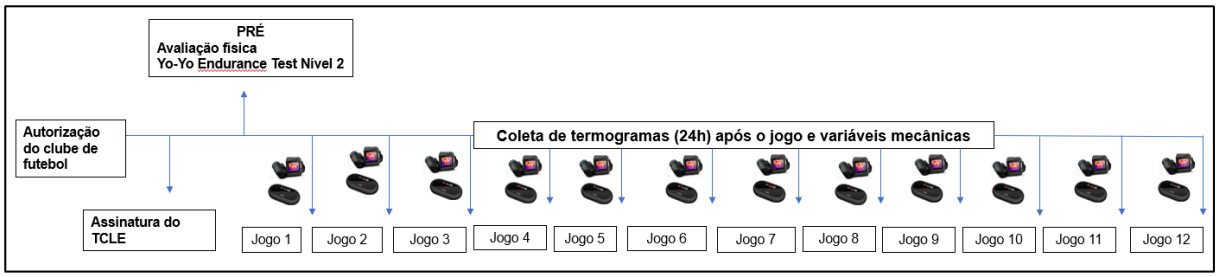
3.3.1 Caracterização da Amostra

A massa corporal (kg) e a estatura (cm) foram mensuradas com o voluntário descalço, utilizando uma sunga como vestimenta, por meio de uma balança digital com estadiômetro acoplado (Filizola®, São Paulo, BR). Para estimar o percentual de gordura foram mensuradas as dobras cutâneas a seguir: subescapular, tricipital, peitoral, axilar-média, suprailíaca, abdominal e da coxa por meio de um plicômetro graduado em milímetros (Lange®, Cambridge Scientific Industries, Inc., EUA). Os valores de cada dobra cutânea foram utilizados para o somatório das dobras (Σ dobras) para os cálculos de densidade corporal (JACKSON; POLLOCK, 1978) e do percentual de gordura (%G) (SIRI, 1961). O VO2 máx foi indiretamente avaliado por meio do teste de campo YoYo Endurance Test Level 2 (BANGSBO; IAIA; KRUSTRUP, 2008).

3.3.2 Aquisição de imagens térmicas

O estudo é comporto por três momentos de avaliação, que foram realizadas durante o período competitivo, a saber: M1 – (baseline) – 24 horas antes da realização da partida; M2 – (24h) - 24horas após a realização da partida; M3 – (48h) - 48horas após a realização da partida, não houve qualquer intervenção dos pesquisadores entre as avaliações e a rotina da temporada competitiva foi mantida. Na Figura 4 são apresentadas todas as etapas da coleta de dados.

Figura 4 - Delineamento metodológico



Fonte: Elaborada pelo autor

Para análise dos quadrantes da visão anterior e posterior, uma câmera térmica profissional (T1020, FLIR® Systems, Stockholm) foi usada, com faixa de precisão de -20 a

120°C, precisão de 1%, sensibilidade de ≤ 0.02 ◦C, uma banda espectral infravermelha de 7,5 a 13 μm, taxa de atualização de 30 Hz, foco automático e resolução de 1024x768 (786.432 pixels). Os termogramas foram selecionados e visualizados em software dedicado (APOLLO®, OMNI, Brazil). A sala de coleta estava equipada com ar-condicionado para controle da temperatura e iluminação artificial por meio de lâmpadas fluorescentes, onde os participantes devem evitar tocar, coçar ou encostar em outros objetos ou outros participantes nas regiões de interesse (coxa e perna), além de se movimentar o mínimo possível. A temperatura da sala estava em 22°C, com umidade relativa do ar entre 60% e 75%. Para cobertura da região corporal de interesse durante o exame, a câmera termográfica estava com distância de 1,5 m com os participantes em posição anatômica vestido apenas de sunga com aclimatação de 10 minutos (MARINS et al., 2014). O método utilizado para análise dos termogramas foi a Termopixelgrafia (TPG) (RODRIGUES JÚNIOR et al., 2021). A Tabela 1 ilustra as zonas de referência e faixas de temperatura.

Tabela 1 - Faixas de temperatura em °C e suas zonas de referência

Zona de referência	Bandas	Faixa de temperatura (°C)
Zona Fria – ZF	1	28 - 28,9
	2	29 - 29,9
	3	30 - 30,9
Zona Neutra – ZN	4	31 - 31,9
	5	32 - 32,9
	6	33 - 33,9
Zona Quente – ZQ	7	34 - 34,9
	8	≥ 35

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.3 Genotipagem do SNP rs1815739 ACTN3 R577X

O DNA genômico foi extraído de 500 μl de sangue total coletado no primeiro dia do estudo, usando um método de salting out (MILLER et al., 1988) e a qualidade e integridade da amostra foram testadas por espectrofotometria (Nanodrop®, Thermo Fisher Scientific GE, MA, Estados Unidos). Para a determinação do polimorfismo rs1815739 do gene ACTN3, o local de interesse no exon 16 do gene foi amplificado a partir do DNA genômico utilizando-se os seguintes primers CACGATCAGTTCAAGGCAACA (forward), CCCTGGATGCCCATGATG (reverse) e sondas moleculares Vic-CTGACCGAGAGCGA e Fam-AGGCTGACTGAGAGC (Applied Biosystems®, MA, Estados Unidos) para a genotipagem dos alelos C e T respectivamente por fluorescência. A presença do alelo C permite

a tradução do resíduo Arginina (R) e nesse trabalho será citado como alelo R. Assim como o alelo T impede a formação do resíduo na mesma posição, truncando a proteína. Neste trabalho será citado como alelo X. A discriminação de alelos foi realizada em um sistema de detecção de sequência genômica (StepOnePlus® Real-Time PCR System, Applied Biosystems, MA, Estados Unidos). Em cada poço da placa de qPCR foram pipetados 10-15 ng de DNA (1 μL) além de 12,5 μL de Master mix para genotipagem (TaqMan Genotyping Master Mix® - 2✕), 1,3 μL de primers e sondas específicos (TaqMan genotyping assay mix® - 20✕) e 11,2 μL de água livre de DNAse e RNAse, totalizando para cada amostra, um volume final de 25 μL. O processo de amplificação iniciou-se com uma desnaturação a 95°C por 10 minutos seguido por 40 ciclos de 94°C por 15 segundose 60 segundos a 60°C. Os alelos foram distinguidos por discriminação alélica a partir da relação entre as diferentes fluorescências geradas no software StepOnePlus™ Software v2.3.

3.3.4 Variáveis mecânicas

As variáveis mecânicas foram coletadas por meio de GPS integrado (Polar® Team Pro 2) de 10 Hz com sensor de movimento MEMS, 200Hz (acelerômetro 3D e magnetômetro). As dimensões do GPS são 36 mm x 68 mm x 13 mm e massa de 39 g, com temperatura operacional: -10 °C a +45 °C. O aparelho foi ligado 15 minutos antes do início da partida e desligado imediatamente após o final da partida. As zonas de velocidade monitoradas pelo GPS estão de acordo com as especificações do fabricante, a saber: Z1 (3km/h a 6,99km/h), Z2 (7km/h a 10,99km/h), Z3 (11 km/h a 14,99 km/h), Z4 (15km/h a 18km/h) e Z5 (a partir de 19km/h). Para análise das variáveis “Distância em alta intensidade/minuto” e “Ações de alta intensidade/minuto” foi utilizado como parâmetro a zona de velocidade Z5.

3.3.5 Análise Estatística

Os dados para análise estatística descritiva foram apresentados em média e desvio padrão (DP) quando identificado normalidade dos dados. Para atingir os pressupostos dos testes estatísticos para as variáveis da TRI (zona quente da TPG) e variáveis mecânicas (distância percorridas em alta intensidade por minuto e o número de ações de alta intensidade por minuto), foram realizados os testes de *Shapiro-Wilk* para verificar a normalidade, distância de Mahalanobis para identificar a ausência de outliers, M de Box para verificar a homogeneidade

das matrizes de variância-covariância e o teste de *Levene*, para verificar a homogeneidade das variâncias (FIELD, 2009). Para a variável da TRI (zona quente da TPG) nos momentos M1, M2 e M3, foi realizado o teste de Mauchly, para verificar a esfericidade (FIELD, 2009).

A possível associação quantitativa entre as variáveis mecânicas e variáveis de TRI foi realizada por meio do coeficiente de correlação de Spearman. Para tal, atingir os pressupostos foi realizado os testes de *Shapiro-Wilk*, para verificar a normalidade e teste de homoscedasticidade, para verificar a variância dos resíduos (FIELD, 2009). De maneira qualitativa e baseado no valor de *r* o nível de correlação entre duas variáveis foi avaliado, conforme apresentado na Tabela 2 (O'DONOGHUE, 2012).

Tabela 2 - Nível de correlação entre duas variáveis

R	**Correlação é considerada**
0 - 0,2	Nenhuma correlação
0,2 - 0,45	Fraca
0,45 - 0,7	Moderada
Acima de 0,7	Forte
1	Perfeita

Fonte: O'DONOGHUE, 2012

A análise de variância (ANOVA) *two way* foi utilizada para verificar a diferenças das médias do somatório de pixels da zona quente nos diferentes genótipos (RR, RX e XX) nos diferentes momentos (pré, 24horas após e 48horas após). O teste *Post Hoc* de Tukey foi utilizado para identificar em qual momento ou grupo estavam às diferenças, quando verificada diferença significativa (O'DONOGHUE, 2012). O tamanho do efeito foi determinado por meio do eta parcial ao quadrado ($\eta 2$), sendo considerado pequeno (< 0.01), moderado (0.02 a 0.05) ou grande (> 0.14) (COHEN, 1988).

A análise de variância multivariada (MANOVA) foi utilizada para verificar se os grupos (genótipos RR, RX e XX) diferem ao longo da combinação das variáveis zona quente no momento 48horas, distância percorrida em alta intensidade por minuto e número de ações de alta intensidade por minutos nos diferentes grupos. O teste *Post Hoc* de Tukey foi utilizado para identificar em qual momento ou grupo estavam às diferenças, quando verificada diferença significativa (O'DONOGHUE, 2012).

Os procedimentos estatísticos foram realizados nos softwares *Statistical Package of the Social Sciences* versão 22.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois), *GrahPad Prism* versão 9.3.1 e STATA, ambos com nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS

A frequência genotípica dos genótipos RR, RX e XX foram 35,71%, 42,85% e 21,42%, respectivamente.

As análises estatísticas descritivas (média ± DP) das características por grupo, estão descritas na

Tabela 3.

Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis mecânicas e da TRI

Zona Quente da TPG - 24horas				
Grupo (Genótipo)	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
RR	119,82	10,58	304,60	72,66
RX	123,97	19,94	302,45	66,98
XX	120,33	11,00	269,80	64,09
Zona Quente da TPG - 48horas				
Grupo (Genótipo)	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
RR	71,12	9,42	276,43	50,77
RX	107,35	6,80	328,19	75,26
XX	250,71	55,24	521,60	111,97
Distância percorrida em alta intensidade por minuto (m/min)				
Grupo (Genótipo)	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Continuação Tabela 5				
RR	10,57	1,01	25,56	5,95
RX	8,24	2,29	22,41	4,40
XX	7,86	2,47	20,54	4,12
Número de ações de alta intensidade por minuto				
Grupo (Genótipo)	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
RR	1,43	0,79	3,14	0,42
RX	1,24	0,65	2,99	0,40
XX	1,25	0,56	2,36	0,34

Fonte: Elaborado pelo autor

Para realização da ANOVA *two-way* para a zona quente da TPG nos M1, M2 e M3 foi verificado os pressupostos de normalidade dos dados ($p<0,05$) e esfericidade por meio do teste de Mauchly ($p>0,05$) sendo então necessária a retificação do pressuposto de esfericidade por meio da correção de *Greenhouse-Geisser*. A ANOVA *two-way* mostrou que, a interação entre

momento e genótipo teve influência significativa no somatório de pixels da zona quente (F 4,22 = 9,39, p=0,001, η2= 0,18); mostrou que, o momento teve influência significativa no somatório de pixels da zona quente (F1.759,19,34 = 91,09; p< 0,001, η2= 2,79). O Resultado reporta desde uma aproximação uni-variada com um ajuste de Greenhouse-Geisser (0,87); mostrou que o genótipo teve influência significativa no somatório de pixels da zona quente (F2,11 = 7,13, p< 0,001, η2= 0.25). Na Tabela 4 - Interações da Anova Two Way apresenta os valores de significância das interações.

Tabela 4 - Interações da Anova Two Way

Fonte de Variação	Valor p	Correção de Greenhouse-Geisser
Momento x Genótipo	0,0001	0,8793
Momento	<0,0001	
Genótipo	0,0103	

Fonte: Elaborada pelo autor

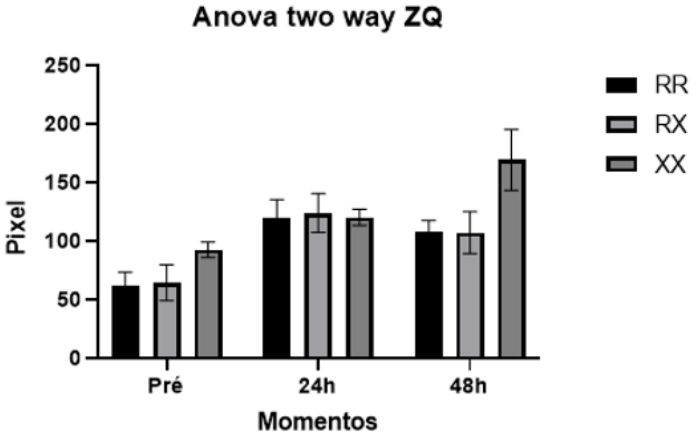
O post-hoc de Tukey na Tabela 5 mostrou que há diferenças significativa (p<0,0001) entre o momento "Pré" para a zona quente, quando comparado aos momentos 24h e 48h. Dessa forma, foi possível identificar que genótipo XX atingiu o pico no momento 48horas, diferenciando-se dos demais, que possuíram maiores valores no momento 24horas. Os valores da *Anova two way* estão apresentados na Figura 5.

Tabela 5 - Teste de Tukey - Anova Two Way

Teste de Tukey	Valor p
Pré x 24hrs	<0,0001
Pré x 48hrs	<0,0001
24hrs x 48hrs	0,9880

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 5 - Comparação da quantidade de pixels e momentos Pré, 24horas e 48horas após jogo



Para realização da análise multivariada (MANOVA) entre as variáveis da TRI (zona quente da TPG) e variáveis mecânicas (distância percorridas em alta intensidade por minuto e o número de ações de alta intensidade por minuto) foi realizado a transformação dos dados (Log10) e em foi verificado os pressupostos: testes de *Shapiro-Wilk* ($p<0,05$), distância de Mahalanobis ($p<0,001$), correlação ($p= 0,450$ e $p= 0,175$), M de Box ($p= 0,382$) e o teste de *Levene* ($p= 0,019$) para as variáveis da TRI (zona quente da TPG). A Manova unidirecional, apresentada na Tabela 6, mostrou que há efeito do genótipo sobre na zona quente após 48h, distância percorrida em alta intensidade por minuto e número de ações de alta intensidade por minuto (Traço de Pillai = 0,398, $F6,328 = 13,59$ $p<0,001$ $\eta2= 0.199$).

Tabela 6 - Manova Unidirecional

Efeito		Valor p	Eta parcial ao quadrado
Genótipo	Rastreamento de Pilai	<0,0001	0,199
	Lambda de Wilks	<0,0001	0,214
	Rastreamento de Hotteling	<0,0001	0,228

Fonte: Elaborada pelo autor

As anovas univariadas, na

Tabela 7, mostraram que existe efeito do genótipo sobre a zona quente após 48h ($F_{2,165} = 39,65$, $p<0,01$) distância percorrida em alta intensidade por minuto ($F_{2,165} = 3,86$, $p<0,05$) e no número de ações de alta intensidade por minuto ($F_{2,165} = 4,314$, $p<0,01$).

Tabela 7 - Anovas Univariadas

Origem	Variável Dependente	Valor p	Eta parcial ao quadrado

Genótipo	Zona Quente 48horas	0,0001	0,325
	DAI/min	0,0230	0,045
	AAI/min	0,0070	0,058

Fonte: Elaborada pelo autor

O post-hoc de Tukey, Tabela 8, mostrou que há diferenças significativa ($p<0,05$) entre o genótipo RR quando comparado com os demais RX e XX, para a variável zona quente após 48h da partida; mostrou que há diferenças significativa ($p<0,05$) entre o genótipo RX quando comparado com os demais RR e XX, para a variável zona quente após 48h da partida; mostrou que há diferenças significativa ($p<0,05$) entre o genótipo XX quando comparado com os demais RR e RX, para a variável zona quente após 48h da partida; mostrou que há diferenças significativa ($p<0,05$) entre o genótipo RR para a variável distância percorrida em alta intensidade por minuto, quando comparado aos genótipos RX e vice-versa; mostrou que há diferença significativa ($p<0,05$) entre o genótipo RR para a variável número de ações de alta intensidade realizadas por minuto em jogos de futebol, quando comparado aos genótipos RX e XX e vice-versa, ou seja, entre o RX - RX e XX – RR.

Tabela 8 - Teste de Tukey - Manova

Variável Dependente	**Genótipo**	**Genótipo**	**Valor p**
Zona Quente 48hors	XX	RR	0,0001
		RX	0,0001
DAI/min	RR	RX	0,0400
AAI/min	RR	RX	0,0080
		XX	0,0500

Fonte: Elaborada pelo autor

Para a ZQ48horas não houve diferenças significativas para a distância percorrida em alta intensidade por minuto ($p=0,08$) e no número de ações de alta intensidade realizas por minuto ($p=0,10$). Para cada acréscimo positivo do genótipo XX ($p<0,001$; $R^2= 0,64$), parece haver um aumento do somatório de pixels na zona quente no momento 48horas após partida. Para cada acréscimo negativo do genótipo RR ($p<0,001$; $R^2= -0,39$), parece haver uma diminuição do somatório de pixels na zona quente no momento 48horas após partida. Para cada acréscimo negativo do genótipo RX ($p<0,001$; $R^2= -0,15$), parece haver uma redução na zona quente no momento 48horas após partida. Para a DAI/min houve diferença significativa com o genótipo RR ($p<0,001$; $R= 0,31$) e genótipo XX ($p<0,001$; $R= - 0,21$). A Tabela 9 apresenta as correlações das variáveis mecânicas e TRI.

Tabela 9 – Matriz de correlação

	ZQ_24horas	ZQ_48horas	DAI_min
AAI_min	0.3255		
Valor p	0.0000		
RR		-0.3934	0.3155
Valor p		0.0000	0.0000
RX		-0.1505	
Valor p		0.0515	
XX		0.6410	-0.2138
Valor p		0.0000	0.0054

Fonte: Elaborada pelo autor

5 DISCUSSÃO

Os principais achados deste estudo foram, a identificação de que atletas XX apresentaram maior processo inflamatório 48horas após partida quando comparado aos genótipos RR e RX, sendo este achado confirmado estatisticamente pela Anova *two-way* ($p<0,0001$; $F2,11 = 7,13$, $p< 0,001$, $\eta2 = 0,25$) e que atletas RR percorreram maior distância em alta intensidade e realizaram o maior número de ações de alta intensidade por minuto juntamente com redução de pixels na ZQ48horas, sendo este achado confirmado estatisticamente pela MANOVA (Traço de Pillai = 0,398, $F6,328 = 13,59$; $p<0,001$, $\eta2 = 0,199$).

Recentemente, foi identificado a influência do gene *ACTN3* na carreira do atleta de futebol quando os genótipos mais frequentes são observados nas categorias mais velhas (COELHO *et al*., 2018). Alternativamente, esses resultados sugerem que, sem genotipagem, as sequências de seleções que caracterizam a carreira de um atleta de futebol também selecionam contra o genótipo XX. Neste estudo, 64% da variação do somatório de pixels da ZQ48horas após as partidas foi explicada pela presença do genótipo XX entre os atletas de futebol ($p<0,001$; $R^2 = 0,64$). Foi identificado que o momento 48horas após a partida possibilita compreender a magnitude e duração das atividades pró-inflamatórias pois, ao analisar jogos consecutivos as maiores respostas da Tp e Proteína C-Reativa foram identificadas no momento 48horas após o terceiro jogo, ou seja, é possível que devido ao efeito acumulativo do processo inflamatório apresentado ao decorrer dos jogos, a zona quente (temperaturas $\geq 33°C$) apresentará maior número de pixels (DUARTE *et al*., 2022). Uma possível explicação seria devido às características individuais e intensidade do agente lesivo, no nosso caso, as partidas consecutivas de futebol, que ocasionam uma variação da cinética e amplitude de cada fase do processo de regeneração muscular, dado que, após 48horas é evidenciado a presença aumentada de macrófagos *Ly6Chigh* no local inflamado os quais possuem ação fagocítica, removendo os restos teciduais e liberando citocinas pró-inflamatórias, em seguida ocorre a ação de macrófagos *Ly6Clow* que facilitam o processo para a fase 3, de regeneração muscular (FORCINA; CONSENTINO; MUSARÒ *et al*., 2020). Sendo assim, foi encontrado que atletas de futebol da categoria profissional pertencentes aos RR e RX necessitaram entre 17 e 33 dias, enquanto o XX em média, 36 a 44 dias, a depender da gravidade da lesão para retornar aos treinamentos (CLOS *et al*., 2019). Dessa forma, a depender do genótipo e a participação em partidas consecutivas poderá ocorrer diferentes respostas em relação as fases da regeneração

muscular, ou seja, 48horas após partida o genótipo XX pode se encontrar na fase 2 (onda inflamatória) e o genótipo RR, na fase 3 (miogênese regenerativa).

É indicado uma provável relação de dependência entre o aumento do dano muscular com a maior concentração de pixels na zona quente, pois o aumento da Tp na zona quente pode ser interpretado como calor produzido devido ao processo inflamatório que é transferido por condução para a pele (dos músculos internos mais quentes para os tecidos externos mais frios), indicando uma relação de dependência entre o aumento do dano muscular com maior concentração de pixels na zona quente. (ALBURQUERQUE SANTANA *et al*., 2022). Z

A seguir serão apresentados estudos que apontam associação positiva entre a TRI e biomarcadores sanguíneos ou limiar de dor após 48horas da partida, constatando neste período picos de processo inflamatório em atletas de futebol. Foi identificado em atletas de futebol Sub-17 a associação do aumento da Tp com o aumento de CK no sangue, sendo verificado manutenção de valores elevados de Tp 48horas após partidas, a qual foi sugerido provável lesão tecidual das regiões anatômicas analisadas (BANDEIRA *et al*., 2014). Além disso, foi identificado que atletas XX da categoria profissional apresentaram maior atividade de CK, alfa actina e níveis elevados de cortisol, apresentando maior estado catabólico, quando comparados a indivíduos RR (PIMENTA *et al*., 2012). Recentemente, foi identificado relação positiva entre limiares de dor à pressão e Tp em membros inferiores 48horas após exercício, onde a magnitude do dano muscular refletiu menor valor de limiares de dor à pressão e maior valor de Tp (DA SILVA *et al*., 2021).

Atletas XX possivelmente estão sujeitos a maior risco de desenvolvimento de lesão, necessitando maior tempo de recuperação e aplicação de carga distribuída de maneira específica (PIMENTA *et al*., 2012). Isso sugere que a quantidade de ações provavelmente tem maior impacto na Zona Quente da TPG e consequentemente maior o dano causado, quando comparado à distância percorrida em partidas de futebol da categoria Sub 20. Isso pode ser explicado devido a forma como o calor flui do corpo para o ambiente que pode variar de acordo com a resposta metabólica individual, onde a maioria dos atletas treinados apresentam inicialmente uma diminuição seguido de um aumento da temperatura, enquanto os atletas profissionais apresentam um aumento constante da temperatura, sugerindo que essa tendência de temperatura típica dos atletas profissionais pode ser um dos fatores relacionados ao seu alto desempenho (LAMBERTI *et al*., 2020). Foi possível observar em um estudo com atletas amadores a ausência de efeito do *ACTN3* nos desempenhos de sprint e potência de membros inferiores (KOKU *et al*., 2019).

Sobre o possível impacto dos jogos seriados na zona quente, nossos resultados a partir de doze jogos, corroboram com outro estudo que obteve resultados semelhantes ao analisar a zona quente após jogos seriados com atletas profissionais, onde após o terceiro jogo consecutivo a zona quente na TPG apresentou aumento gradual do número de pixels em comparação ao primeiro jogo (VIEIRA *et al*., 2021). Esse resultado indica possível impacto que a sequência de jogos seriados pode ocasionar em atletas de futebol.

Nosso segundo achado foi que, a existência do genótipo RR ($p<0,001$; $R^2 = - 0,39$) ocasionou na redução do somatório de pixels no momento ZQ48horas após as partidas. Recentemente, foi indicado uma possível relação entre a mudança de temperatura da pele muscular e a fadiga muscular (HADZIC *et al*., 2019). Uma possível explicação seria a presença da proteína que pode contribuir para alterações no desempenho muscular na saúde e na doença, onde a α-actina-3 apresenta expressiva conservação em fibras IIx atuando de maneira mais eficaz quando comparada com a α-actina-2, sendo estas fibras com frequência 5% maior na população RR quando comparado com XX (PIMENTA *et al*., 2012; HOUWELING; NORTH, 2009; MACARTHUR; NORTH, 2004; VINCENT *et al*., 2007; MILLS *et al*., 2001; NORTH *et al*., 1999). Outo ponto se dá devido ao efeito crônico dos processos inflamatórios locais, pois, atletas de futebol que percorrem maiores distâncias (km) ao longo de uma temporada competitiva, podem apresentar durante a análise dos membros inferiores na visão anterior, maior número de pixels na zona quente quando comparado à visão posterior (RODRIGUES JÚNIOR *et al*., 2021). Esse achado nos ajuda a compreender as respostas termográficas após participação em partidas de futebol e os resultados do nosso estudo trazem informações adicionais, mostrando que a capacidade de percorrer altas distâncias e a magnitude do processo inflamatório são influenciados pelo genótipo do gene *ACTN3*.

Ações realizadas em alta velocidade no futebol, tem se tornado uma capacidade que diferencia um atleta em excelência do mediano, com isso, estas ações são claramente identificadas não somente no contexto de jogo, mas também em testes físicos, dessa forma, foi evidenciado o aumento da Tp em membros inferiores após a aplicação de teste de velocidade (30m), podendo ser ocasionado devido o direcionamento do fluxo sanguíneo para as áreas de maior ativação (PETR *et al*., 2022; PINHEIRO *et al*., 2021). Ao analisar o gene *ACTN3* neste contexto, foi encontrado que atletas de futebol com genótipo RR e RX durante o processo de formação apresentam melhor desempenho em testes físicos de sprint e salto que exigem força e contrações musculares rápidas (DIONÍSIO *et al*., 2017). Para o genótipo XX foi identificado melhor desempenho de resistência e redução nas predisposições de velocidade, potência e força (DRUZHEVSKAYA et al., 2008; PIMENTA *et al*., 2013; PETR *et al*., 2022).

Ainda sobre nosso segundo achado, a partir dos resultados deste estudo, evidenciamos que 31% da variação na distância percorrida em alta intensidade por minuto foi explicada pelo fato do genótipo RR entre os atletas de futebol e a existência do genótipo XX, ocasionou na redução da distância percorrida em alta intensidade por minuto durante as partidas, esclarecendo que provavelmente a elevada Tp 48horas após as partidas tem relação com o genótipo. Outra possível explicação se dá devido a α-actinina-3 possibilitar na linha Z das fibras musculares tipo IIx, maior capacidade de absorção e transmissão de força durante contrações rápidas, interferindo assim no desempenho esportivo (PIMENTA *et al*., 2012). Além disso, o genótipo XX apresenta atividade reduzida da enzima glicogênio fosforilase, ocasionando menor degradação dos estoques de glicogênio muscular e consequentemente, redução na produção de energia em atividades de alta intensidade (QUINLAN *et al*., 2010). Corroborando com esses aspectos, as estruturas proteicas alteradas na linha Z, é umas das características apresentadas nas propriedades contráteis de músculos deficientes em α-actinina-3 (LEE *et al*., 2016). Essas alterações podem ser explicadas por dois possíveis mecanismos, a saber: a) a ausência da α-actinina-3 resulta em um menor *pool* total de actininas sarcoméricas disponíveis para se juntar ao disco Z de fibras musculares rápidas e; b) efeitos fenotípicos da ausência de α-actinina-3 são devidos principalmente às diferenças funcionais entre α-actinina-2 e α-actinina-3, tais como proteínas associadas ao disco Z (SETO *et al*., 2011).

Exercícios de longa duração como o futebol, podem ocasionar no aumento da Tp nos membros inferiores devido maior atividade das respectivas regiões musculares durante a partida, entretanto, não existe uma resposta homogênea nestas regiões corporais, mostrando a complexidade da Tp durante o exercício. (FERNANDES et al., 2012). Nosso estudo contribui para o entendimento de possíveis respostas termográficas, ao verificarmos as diferentes respostas entre os genótipos RR, RX e XX.

Entre 2007 e 2018 foi evidenciado uma forte diferença em fatores técnicos e diferentes momento de coleta na seleção do termograma, podendo explicar, de forma parcial, os achados controversos entre alguns estudos (HILLEN *et al*., 2019). Em nosso estudo, fatores como processo de recuperação após partidas, rotinas de treinamentos não foram controlados podendo ser um fator limitante e o número reduzido de participantes (14 atletas) que cumpriram 65% de minutagem nas partidas foram fatores limitante apesar, da elevada validade ecológica, por se tratar de atletas de futebol de um clube de elite do futebol brasileiro que possuem rotinas semelhantes.

6 CONCLUSÃO

Nesse estudo atletas de futebol XX da categoria Sub-20 apresentaram média de 250,71 pixels de pixels na Zona Quente da TPG no momento 48horas após partidas de futebol, sugerindo maior dano muscular indireto quando comparado aos demais genótipos RR e RX. Além disso, atletas RR obtiveram melhor desempenho em ações de alta intensidade quando comparado aos demais genótipos, percorrendo em média 10,57 metros/minuto em alta intensidade, realizando 1,43 ações/minuto em alta intensidade e 71,12 pixels da Zona Quente da TPG 48horas após partida, proporcionando provavelmente menor fadiga quando comparado ao demais genótipos, elucidando o impacto do gene ACTN3 em atletas dessa categoria. Essas informações podem ser válidas para uso durante sessões de monitoramento da resposta interna por meio da TPG em departamentos de fisiologia em clubes de futebol e para realização da periodização do treinamento por GPS planejado por preparadores físicos.

REFERÊNCIAS

ADAMCZYK, J. Grzegorz *et al.* The use of thermal imaging to assess the effectiveness of ice massage and cold-water immersion as methods for supporting post-exercise recovery. **Journal of Thermal Biology**, v. 60, p. 20–25, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.05.006

ADESIDA, Y.; PAPI, E.; MCGREGOR, A. Exploring the role of wearable technology in sport kinematics and kinetics: A systematic review. **Sensors**, v. 19, n. 7, p. 1597, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3390/s19071597

ALBURQUERQUE SANTANA, P. Vieira *et al*. Relationship between infrared thermography and muscle damage markers in physically active men after plyometric exercise. **Journal of Thermal Biology**, n. 104, p. 103187, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103187

ARNAIZ-LASTRAS, J. *et al*. Sports Physiology works View project Dynamics of balance recuperation View project. **Revista de Preparação Física de Futebol**, n. 13, 2014 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279447299

BANDEIRA, Fábio *et al*. Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol? **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 18, n. 4, 2012.

BANDEIRA, Fábio *et al*. A termografia no apoio ao diagnóstico de lesão muscular no esporte. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 20, n. 1, 2014.

BANGSBO, J.; MOHR, M.; KRUSTRUP, P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. **Journal of Sports Sciences**, v. 24, n. 7, p. 665–674, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1080/02640410500482529

BANGSBO, J.; IAIA, F.; KRUSTRUP, P. The Yo-Yo Intermittent Recovery Test. Sports Medicine, [S. l.], v. 38, n. 1, p. 37–51, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00004

BARCELOS, Emílio *et al*. A combined method for segmentation and registration for an advanced and progressive evaluation of thermal images. **Sensors**, v. 14, n. 11, p. 21950–21967, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.3390/s141121950

BEGGS, Alan *et al*. Cloning and characterization of two human skeletal muscle α-actinin genes located on chromosomes 1 and 11. **Journal of Biological Chemistry**, v. 267, n. 13, p. 9281–9288, 1992. https://doi.org/10.1016/s0021-9258(19)50420-3

BOONE, T., *et al*. ACTN3 R577X and ACE I/D Genotype Frequencies of Professional Soccer Players in Brazil. **Journal of Exercise Physiology**, v. 20, n. 6, 2017.

BORGHI, Stefano *et al*. Differences in GPS variables according to playing formations and playing positions in U19 male soccer players. **Research in Sports Medicine**, v. 29, n. 3, p. 225–239, 2021. https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1815201

BORTOLOTTI, Henrique *et al*. Avaliação da capacidade de realizar sprints repetidos no futebol. *Motriz.* **Revista de Educação Física**. v. 16, n. 4, p. 1006-1012, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.5016/1980-6574.2010v16n4p1006

BRADLEY, Paul *et al.* High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. v. 24, n. 9, p. 2343–2351, 2010. **Journal of Strength and Conditioning Research**. Disponível em: www.nsca-jscr.org

BUENO JÚNIOR, Carlos; GOMES PEREIRA, Marcelo. Biologia molecular como ferramenta no esporte de alto rendimento. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v. 31, n. 3, p. 231-249, 2010.

CALDEIRA, Romualdo *et al*. The Relationship between Different Large-Sided Games and Official Matches on Professional Football Players' Locomotor Intensity. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 7, p. 4214, 2022 https://doi.org/10.3390/ijerph19074214

CHUDECKA, Monika *et al*. The use of thermal imaging in the evaluation of the symmetry of muscle activity in various types of exercises (Symmetrical and Asymmetrical). **Journal of Human Kinetics**, v. 49, n. 1, p. 141–147, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0116

CIESZCZYK, Pawel *et al*. Association of the ACTN3 R577X polymorphism in Polish power-orientated athletes. **Journal of Human Kinetics**, v. *28*, n. 1, p. 55–61, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.2478/v10078-011-0022-0

CLEMENTE, Filipe *et al*. Accelerometry-workload indices concerning different levels of participation during congested fixture periods in professional soccer: A pilot study conducted over a full season. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 3, p. 1–9, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph18031137

CLOS, Enric *et al*. ACTN3 single nucleotide polymorphism is associated with non-contact musculoskeletal soft-tissue injury incidence in elite professional football players. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, n. 27, p. 4055–4061, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00167-019-05381-x

CLOS, Enric *et al*. ACTN3 's R577X Single Nucleotide Polymorphism Allele Distribution Differs Significantly in Professional Football Players according to Their Field Position. **Medical Principles and Practice**, v. 30, n. 1, p. 92–97, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1159/000509089

COELHO, Daniel *et al*. Evidence for a Role of ACTN3 R577X Polymorphism in Football Player's Career Progression. **International Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 14, p. 1088–1093, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1055/a-0753-4973

COELHO, Daniel *et al*. Alpha-Actinin-3 R577X Polymorphism Influences Muscle Damage and Hormonal Responses After a Soccer Game. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 10, p. 2655–2664, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002575

COELHO, Daniel *et al*. The alpha-actinin-3 R577x polymorphism and physical performance in soccer players. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 56, n. 3, p. 241–248, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2552.6241

CÔGO, Willy *et al*. Perfil térmico de membros inferiores de jogadores de futebol de categoria de base thermal profile of lower limbs of youth soccer players. **Revista Brasileira de Futebol**, v. 10, n. 2, p. 4–24, 2017.

CÔRTE, Ana *et al*. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. **Revista Brasileira de Medicina Do Esporte**, v. *22*, n. 4, p. 315–319, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1517-869220162204160783

CÔRTE, Ana *et al*. Infrared thermography study as a complementary method of screening and prevention of muscle injuries: Pilot study. **BMJ Open Sport and Exercise Medicine**, v. *5*, n. 1, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000431

CUMMINS, Cloe *et al*. Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: A systematic review. **Sports Medicine**. v. 43, n. 10, p. 1025–1042, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2

DA SILVA, William *et al*. Relationship between exercise-induced muscle soreness, pain thresholds, and skin temperature in men and women. **Journal of Thermal Biology**, v. 100, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103051

DAHMEN, Silvio. A obra de Boltzmann em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 281 – 295, 2006.

DE ANDRADE FERNANDES, Alex *et al*. Skin temperature changes of under-20 soccer players after two consecutive matches. **Sport Sciences for Health**, v. 13, n. 3, p. 635–643, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11332-017-0394-1

DE CARVALHO, Gabriela *et al*. Correlation between skin temperature in the lower limbs and biochemical marker, performance data, and clinical recovery scales. **PLoS ONE**, v. 16, n. 3, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248653

RAVAGNANI, Fabrício *et al*. Perfil físico das diferentes posições de jogadores de futebol. **Revista Brasileira de Ciência do Movimento**, v. 21, n. 2, p. 11-18, 2013.

DER STRASSE, Wally *et al*. Detecting bone lesions in the emergency room with medical infrared thermography. **BioMedical Engineering OnLine**, v. 21, n. 1, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12938-022-01005-7

DI SALVO, V. *et al*. Analysis of high intensity activity in premier league soccer. **International Journal of Sports Medicine**, v. 30, n. 3, p. 205–212, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950

DINDORF, Carlo *et al*. Effects of Unilateral Muscle Fatigue on Thermographic Skin Surface Temperature of Back and Abdominal Muscles: A Pilot Study. **Sports**, v. 10, n. 3, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/sports10030041

DIONÍSIO, Thiago *et al*. The influence of genetic polymorphisms on performance and cardiac and hemodynamic parameters among Brazilian soccer players. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**, v. 42, n. 6, p. 596–604, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0608

DRUZHEVSKAYA, Anastasiya *et al*. Association of the ACTN3 R577X polymorphism with power athlete status in Russians. **European Journal of Applied Physiology**, v. 103, n. 6, p. 631–634, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00421-008-0763-1

DUARTE, Warley *et al*. C-Reactive Protein and Skin Temperature of the lower limbs of Brazilian elite soccer players like load markers following three consecutive games. **Journal of Thermal Biology**, v. 105, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103188

ENES, Allyson *et al*. Determinant Factors of the Match-Based Internal Load in Elite Soccer Players. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 92, n. 1, 63–70, 2021. https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1710445

FELDENS, Bruno et al. E assim se fez o quantum. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 2602, 2010.

FERNANDES, Alex *et al*. Avaliação da temperatura da pele durante o exercício através da termografia infravermelha: Uma revisão sistemática. **Revista Andaluza de Medicina del Deporte**, v. 5, n. 3, p. 113–117, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S1888-7546(12)70017-5

FERNANDES, Alex *et al*. Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: A case study. **Journal of Exercise Rehabilitation**, v. 13, n. 3, p. 330–334, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.12965/jer.1734934.467

FERNANDES, Tiago *et al*. Clinical application of thermography for energy balance in athletes – State of the art and new paradigms. **Revista Brasileira de Medicina Do Esporte**, v. 24, n. 6, p. 483–485, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1517-869220182406483-5

FERNÁNDEZ-CUEVAS, Ismael *et al*. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. **Infrared Physics and Technology**, v. 71, p. 28–55, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.02.007

Field, Andy. Descobrindo a estatística usando o SPSS [recurso eletrônico] / Andy Field; tradução Lorí Viali. – 2. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegr: Artmed, 2009.

FORCINA, Laura; COSENTINO, Mariana; MUSARÒ, Antonio. Mechanisms Regulating Muscle Regeneration: Insights into the Interrelated and Time-Dependent Phases of Tissue Healing. **Cells**, v. 9, n. 5, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/cells9051297

FREY, Norbert *et al*. Calsarcin-2 deficiency increases exercise capacity in mice through calcineurin/NFAT activation. **Journal of Clinical Investigation**, v. *118*, n. 11, p. 3598–3608, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1172/JCI36277

FREY, Norbert, RICHARDSON, James; OLSON, Eric. Calsarcins, a novel family of sarcomeric calcineurin-binding proteins The calcium-and calmodulin-dependent protein phosphatase. **PNAS**, v. 97, n. 26, p. 14632-14637, 2002. Disponível em: 10.1073/pnas.260501097

GINEVICIENE, Valentina *et al*. Variation in the ACE, PPARGC1A and PPARA genes in Lithuanian football players. **European Journal of Sport Science**, v. 14, p. 1-7, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1080/17461391.2012.691117

GODINHO, Laidiston; FIGUEIREDO, Antonio; VAZ, Luís. Caracterização métrica em futebolistas sub-15. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, Florianópolis, v. 35, n. 2, p. 409-423, 2013.

GUTIÉRREZ-HELLÍN, Jorge *et al*. Effect of actn3 r577x genotype on injury epidemiology in elite endurance runners. **Genes**, v. *12*, n. 1, p. 1–9, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/genes12010076

HADŽIĆ, Vedran et al. Can infrared thermography be used to monitor fatigue during exercise? A case study. **Journal of Sport and Health Science**, v. 8, n. 1, p. 89–92, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.08.002

HAUGEN, Thomas; BREITSCHÄDEL, Felix; SEILER, Stephen. Sprint mechanical properties in soccer players according to playing standard, position, age and sex. **Journal of Sports Sciences**, v. 38, n. 9, p. 1070–1076, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1741955

HEAD, Stewart *et al*. Altered Ca2+ Kinetics Associated with α-Actinin-3 Deficiency May Explain Positive Selection for ACTN3 Null Allele in Human Evolution. **PLoS Genetics**, v. *11*, n. 1, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1004862

HERSCHEL, William. Experimentos sobre a refrangibilidade dos raios invisíveis do sol. **Philosophical Transactions**, v. 90, p. 284–292, 1800. Disponível em: http://doi.org/10.1098/rstl.1800.0015

HILLEN, Barlo *et al*. Infrared Thermography in Exercise Physiology: The Dawning of Exercise Radiomics. **Sports Medicine**, v. 50, n. 2, p. 263–282, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s40279-019-01210-w

HOUWELING, Peter; NORTH, Kathryn. Sarcomeric α-actinins and their role in human muscle disease. **Future Neurology**, v. 4, n. 6, p. 731–743, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.2217/fnl.09.60

HOUWELING, Peter *et al*. Exploring the relationship between α-actinin-3 deficiency and obesity in mice and humans. **International Journal of Obesity**, v. 41, n. 7, p. 1154–1157, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1038/ijo.2017.72

PRIEGO QUESADA, Ignacio. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering Application of Infrared Thermography in Sports Science. **Biological and Medical Physics**, 2007. Disponível em: http://www.springer.com/series/3740

IMPELLIZZERI, Franco; MARCORA, Samuele; COUTTS, Aaron. Internal and external training load: 15 years on. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n. 2, p. 270–273, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0935

JACKSON; POLLOCK. Generalized equations for predicting body density of men. **British journal of nutrition**, v. 40, p. 497–504, 1978.

KHANAL, Praval *et al*. Sarcopenia, obesity, and sarcopenic obesity: Relationship with skeletal muscle phenotypes and single nucleotide polymorphisms. **Journal of Clinical Medicine**, v. *10*, n. 21, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/jcm10214933

KOKU, Fatman *et al*. The relationship between ACTN3 R577X gene polymorphism and physical performance in amateur soccer players and sedentary individuals. **Biology of Sport**, v. *36*, n. 1, p. 9–16, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.5114/biolsport.2018.78900

LA MONTAGNA, Raffaele *et al*. Genomic analysis reveals association of specific SNPs with athletic performance and susceptibility to injuries in professional soccer players. **Journal of Cellular Physiology**, v. 235, n. 3, p. 2139–2148, 2020. https://doi.org/10.1002/jcp.29118

LAHIRI, Demonoy *et al*. Medical applications of infrared thermography: A review. **Infrared Physics and Technology**, v. 55, n. 4, p. 221–235, 2012. https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007

LAHIRI, Demonoy; NURNBERGER, John. A rapid non-enzymatic method for the preparation of HMW DNA from blood for RFLP studies. **Nucleic Acids Research**, v. 19, n. 19, 1991.

LAMBERTI, Giulia *et al*. Effect of exercise on athletes performing in fencing uniforms: Methodology and preliminary results of the use of infrared thermography to detect the thermal behaviour of fencers. **Applied Sciences**, v. 10, n. 9, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/app10093296

LEE, Fiona *et al*. How does α-actinin-3 deficiency alter muscle function? Mechanistic insights into ACTN3, the "gene for speed." **Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Cell Research**, v. 1863, n. 4, p. 686–693, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2016.01.013

LIMA, Robson *et al*. Análise Termográfica de Corpo Inteiro: Indicações para Investigação de Dores Crônicas e Diagnóstico Complementar de Disfunções Secundárias. **Pan American Journal of Medical Thermology**, v. 2, n. 2, p. 70–77, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.18073/2358-4696/pajmt.v2n2p70-77

LUDWIG, Marco *et al*. Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of image analysis methods. **Infrared Physics and Technology**, v. 62, p. 1–6, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.09.011

MACARTHUR, Daniel; NORTH, Kathryn. A gene for speed? The evolution and function of α-actinin-3. **BioEssays**, v. 26, n. 7, p. 786–795, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1002/bies.20061

MACARTHUR, Daniel; NORTH, Kathryn. ACTN3: A genetic influence on muscle function and athletic performance. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 35, n. 1, p. 30–34, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31802d8874

MACARTHUR, Daniel et al. An Actn3 knockout mouse provides mechanistic insights into the association between α-actinin-3 deficiency and human athletic performance. **Human Molecular Genetics**, v. 17, n. 8, p. 1076–1086, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1093/hmg/ddm380

MACARTHUR, Daniel *et al*. Loss of ACTN3 gene function alters mouse muscle metabolism and shows evidence of positive selection in humans. **Nature Genetics**, v. 39, n. 10, p. 1261–1265, 2007. https://doi.org/10.1038/ng2122

MACHADO, Álaro *et al*. Influence of infrared camera model and evaluator reproducibility in the assessment of skin temperature responses to physical exercise. **Journal of Thermal Biology**, v. 98, *2021*. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102913

MARINS, João *et al*. Thermographic profile of soccer players' lower limbs. **Revista Andaluza de Medicina Del Deporte**, v. *7*, n. 1, p. 1–6, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S1888-7546(14)70053-X

MASSIDDA, Myosotis *et al*. ACTN3 R577X polymorphism is not associated with team sport athletic status in Italians. **Sports Medicine - Open**, v. 1, n. 1, p. 3–7, 2015. https://doi.org/10.1186/s40798-015-0008-x

MASSIDDA, Myosotis *et al*. ACTN-3 and ACE genotypes in elite male Italian athletes. **Anthropological Review**, v. *75*, *n.* 1, p. 51–59, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.2478/v10044-012-0004-4

MILLS, Michelle *et al*. Differential expression for the actin-binding proteins, α-actinin-2 and -3, in different species: Implications for the evolution of functional redundancy. **Human Molecular Genetics**, v. 10, n. 13, p. 1335–1346, 2001. https://doi.org/10.1093/hmg/10.13.1335

MOHR, Magni; KRUSTRUP, Peter; BANGSBO, Jens. Fatigue in soccer: A brief review. **In Journal of Sports Sciences**, v. 23, n. 6, p. 593–599, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1080/02640410400021286

MURTAGH, Conall *et al*. The genetic profile of elite youth soccer players and its association with power and speed depends on maturity status. **PLoS ONE**, v. 15, n. 6, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234458

NOBARI, Hadi *et al*. Wearable Inertial Measurement Unit to Measure External Load: A Full-Season Study in Professional Soccer Players. **Applied Sciences**, v. 12, n. 3, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/app12031140

NOBARI, Hadi *et al*. Comparison of running distance variables and body load in competitions based on their results: A full-season study of professional soccer players. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 4, p. 1–11, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph18042077

NORTH, Kathryn. α-Actinin-3 in Skeletal Muscle. **Twin Research and Human Genetics**, v. 11, n. 4, p. 384–394, 2008.

NORTH, Kathryn *et al*. A common nonsense mutation results in α-actinin-3 deficiency in the general population. **Nature Genetics**, v. 21, n. 4, p. 353–354, 1999. Disponível em: https://doi.org/10.1038/7675

Nussbaum, R. L., McInnes, R. R., Willard H. F. *Genética Médica*. 6ºedição, 2002.

PASQUA, Leonardo *et al*. The genetics of human running: ACTN3 polymorphism as an evolutionary tool improving the energy economy during locomotion. **Annals of Human Biology**, v. 43, n. 3, p. 255–260, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.3109/03014460.2015.1050065

O'DONOGHUE, Peter. Statistics for sport and exercise studies : an introduction. **Routledge**, 1º edição, GV558.S73, 2012.

PETR, Miroslav *et al*. Speed and power-related gene polymorphisms associated with playing position in elite soccer players. **Biology of Sport**, v. 39, n. 2, p. 355–366, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2022.105333

PIMENTA, Eduardo *et al*. The ACTN3 genotype in soccer players in response to acute eccentric training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 4, p. 1495–1503, 2012. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2109-7

PIMENTA, Eduardo *et al*. Effect of actn3 gene on strength and endurance in soccer players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27, n. 12, p. 3286-3292, *2013*. https://journals.lww.com/nsca-jscr

PINHEIRO, Anderssa *et al*. Acute effect of speed test on the skin temperature of elite soccer players. **Revista Brasileira de Medicina Do Esporte**, v. *27*, n. 1, p. 55–59, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1517-8692202127012020_0060

PRIEGO QUESADA, Jose *et al*. Definition of the thermographic regions of interest in cycling by using a factor analysis. **Infrared Physics and Technology**, n. 75, p. 180–186, 2016. https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.01.014

PRUNA, Ricard *et al*. Influence of Genetics on Sports Injuries. **Journal of Novel Physiotherapies**. v. *7*, n. 4, 2017. https://doi.org/10.4172/2165-7025.1000359

QUESADA, Jose; CARPES, Felipe. Application of infrared thermography in the assessment of sport equipment. **Materials in Sports Equipment**, p. 37–69, 2019. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102582-6.00002-2

QUINLAN, Kate *et al*. α-Actinin-3 deficiency results in reduced glycogen phosphorylase activity and altered calcium handling in skeletal muscle. **Human Molecular Genetics**, v. 19, n. 7, p. 1335–1346, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1093/hmg/ddq010

RODAS, Gil *et al*. Alpha-Actinin-3 Deficiency Might Affect Recovery from Non-Contact Muscle Injuries: Preliminary Findings in a Top-Level Soccer Team. **Genes**, n. 12, p 769, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/genes120

RODRIGUES JÚNIOR, Jorge *et al*. Correlation between strength and skin temperature asymmetries in the lower limbs of Brazilian elite soccer players before and after a competitive season. ***Journal of Thermal Biology***, n. 99, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102919

RODRIGUEZ-SANZ, David *et al*. Skin temperature in youth soccer players with functional equinus and non-equinus condition after running. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 32, n. 11, p. 2020–2024, 2018. https://doi.org/10.1111/jdv.14966

SALGUEIROSA, Fabiano de Macedo. (2013). Influência do Polimorfismo do ACTN3 e ACE I/D em Indicadores de Performance em Atletas Profissionais de Futebol. Tese (Doutorado) - Educação Física. Programa de Pós-Graduação Em Educação Física Do Setor de Ciências Biológicas Da Universidade Federal Do Paraná. Curitiba: UFPR., 77.

SÁNCHEZ-SÁNCHEZ, Javier *et al*. Heart rate variability and physical demands of in-season youth elite soccer players. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 4, p. 1–8, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph18041391

SANTIAGO, Carlos *et al*. ACTN3 genotype in professional soccer players. **British Journal of Sports Medicine**, v. 42, n. 1, p. 71–73, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.039172

SCHIAFFINO, S. (2010). Fibre types in skeletal muscle: A personal account. **Acta Physiologica**, v. 199, n. 4, p. 451–463, Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2010.02130.x

SCHULZE, Emiel; JULIAN, Ross; SKORSKI, Sabrina. The accuracy of a low-cost GPS system during football-specific movements. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 20, n. 1, p. 126–132, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.52082/jssm.2021.126

SETO, Jane *et al*. The effect of α-actinin-3 deficiency on muscle aging. **Experimental Gerontology**, v. *46*, n. 4, p. 292–302, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.exger.2010.11.006

SETO, Jane *et al*. ACTN3 genotype infuences muscle performance through the regulation of calcineurin signaling. **Journal of Clinical Investigation**, v. 123, n. 10, p. 4255–4263, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1172/JCI67691

SILVA, Yokiny *et al*. Skin temperature changes after exercise and cold water immersion. **Sport Sciences for Health**, v. 13, n. 1, p. 195–202, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11332-017-0353-x

SPONGA, Antonio *et al*. Order from disorder in the sarcomere: FATZ forms a fuzzy but tight complex and phase-separated condensates with α-actinin. ***Science Advances***, v. 7, 2021. https://www.science.org

STØLEN, Tomas *et al*. Physiology of Soccer. **Sports Medicine** v. 35, n. 6, p. 501-36 2005. Disponível em: 10.2165/00007256-200535060-00004

ULUCAN, Korkut; SERCAN, Carnan; BIYIKLI, Turker. Distribution of angiotensin-1 converting enzyme insertion/deletion and α-actinin-3 codon 577 polymorphisms in Turkish male soccer players. **Genetics and Epigenetics**, v. 1, n. 7, p. 1–4, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.4137/GEG.S31479

SUPEJ, Matej; SPÖRRI, Jorg. Special issue on sports performance and health. **Applied Sciences**, v. 11, n. 6, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/app11062755

VARLEY, Matthew; FAIRWEATHER, Ian; AUGHEY, Robert. Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 2, p. 121–127, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1080/02640414.2011.627941

Vieira, José *et al*. Utilização da termografia infravermelha como controle de carga interna em jogadores de futebol. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, v. 15, n. 96. p. 131-136, 2021.

VINCENT, Barbara *et al*. ACTN3 (R577X) genotype is associated with fiber type distribution. **Physiol Genomics**, v. 3, n. 16, p. 58–63, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00173.2007.

WEI, Qi. The ACE and ACTN3 polymorphisms in female soccer athletes. **Genes and Environment**, v. 43, n. 1, p. 4–11, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s41021-021-00177-3

WILLIAMS, Ryan; JOHNSON, Chistopher. A review of calcineurin biophysics with implications for cardiac physiology. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 21, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijms222111565

YANG, Nan *et al*. The ACTN3 R577X polymorphism in east and west African athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 39, n. 11, p. 1985–1988, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31814844c9

APÊNDICES

Apêndice 1

Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte

Carta de anuência para autorização de pesquisa

Ilmo Sr. Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta

Solicitamos autorização institucional para realização da pesquisa intitulada **"Associação do gene *actn3* com as respostas termográficas em membros inferiores de jogadores de futebol de elite em jogos seriados"** a ser realizada na equipe Sub20 do Clube Atlético Mineiro, pelo mestrando Adriel Leal da Costa Santos, sob orientação do Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta, com o seguintes objetivos: Correlacionar o polimorfismo genético da ACTN3 com as respostas termográficas de membros inferiores de jogadores de futebol Sub20 em competição oficial nacional, necessitando portanto coletar dados do gene ACNT3 e *Tp* nos momentos 12h horas, 24h horas, 48 horas e 72 horas pós-jogo, durante um período total de 12 partidas oficiais. A coleta destes dados, deverão obrigatoriamente contar com a participação dos profissionais do clube.

Ressaltamos que os dados coletados serão mantidos em absoluto sigilo e em momento algum o nome do clube será citado, seguindo as orientações da Resolução do Conselho Nacional de Saúde (CNS/MS) 466/12 que trata da Pesquisa envolvendo Seres Humanos. Salientamos ainda que tais dados serão utilizados tão somente para realização deste estudo.

Na certeza de contarmos com a colaboração e empenho desta Diretoria, agradecemos antecipadamente a atenção, ficando à disposição para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessária.

Belo Horizonte, 09 de Novembro de 2021

Adriel Leal da C. Santos
Prof Adriel Leal da Costa Santos
Pesquisador Responsável do Projeto

(x) Concordamos com a solicitação **( ) Não concordamos com a solicitação**

Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta
Consultor científico das categorias de base do Clube Atlético Mineiro

Apêndice 2

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: **ASSOCIAÇÃO DO GENE *ACTN3* COM AS RESPOSTAS TERMOGRÁFICAS EM MEMBROS INFERIORES DE JOGADORES DE FUTEBOL DE ELITE EM JOGOS SERIADOS**

Convidamos você para ser voluntário do projeto de pesquisa *intitulado "*ASSOCIAÇÃO DO GENE *ACTN3* COM AS RESPOSTAS TERMOGRÁFICAS EM MEMBROS INFERIORES DE JOGADORES DE FUTEBOL DE ELITE EM JOGOS SERIADOS*"*, cujo objetivo é verificar associação do gene *ACTN3* com a temperatura da pele de membros inferiores de atletas de futebol de elite Sub-20 nos momentos 24horas e 48horas após partidas oficiais durante o período de jogos consecutivos.

A justificativa para a pesquisa deve-se a contribuição no âmbito científico, mas especificamente na genética, área que tem sido investigada no contexto esportivo, por algumas investigações apresentam possíveis relações entre a expressão gênica e o desempenho atlético. Já na termografia o estudo pode fortalecer ainda mais a importância dessa técnica, possibilitando novas investigações. Outra contribuição é de ordem prática, pois o estudo pode contribuir com o processo de formação de jovens jogadores brasileiros, mostrando a importância do olhar individualizado, possibilitando a comissão técnica um maior número de informações, direcionando sua atenção às necessidades e particularidades de cada jogador e dessa forma: auxiliar na compreensão das respostas á adaptabilidade ao treinamento de jovens jogadores; criação de estratégias de recuperação após as partidas; diagnóstico e prevenção de lesões esportivas; obter mais informações sobre o tempo de recuperação necessária após partidas oficiais; afastamento prévio de possíveis jogadores de determinada sessão de treinamento para adequado tempo de recuperação e construção de um perfil termográfico individual por atleta. E por fim, o caráter pessoal da pesquisa. Por estar atuando com jovens jogadores e entender a importância social que nós treinadores temos nesse processo de formação de jovens jogadores, o campo genético tem sido área de estudo há um ano e meio e aliado aos estudos sobre termografia tenho buscado perceber a partir do pensamento sistêmico o impacto dessas áreas na dimensão estratégico-tático, e não somente questões físicas ou fisiológicas, caracterizando um olhar reducionista para áreas que podem esclarecer informações imprescindíveis. Após o exposto, segue os procedimentos que serão adotados na pesquisa.

Informamos inicialmente que jogadores menores de idade não poderão participar da pesquisa, além disto, o tempo gasto para as coletas atenderão a rotina do clube, com 4 semanas de duração, necessitando somente de duas sessões (6horas) para seu deslocamento ao centro de treinamento em dias esporádicos para realização de demais coletas. Para além disto, os momentos das coletas serão definidos de acordo com a rotina do clube, dessa forma o cronograma será realizado entre o pesquisador e o clube. Você será comunicado de forma antecipada e não será necessário realizar agendamento. Você treinará normalmente em seu clube de futebol e seguirá a programação de treinos dele. Inicialmente, serão realizadas medidas antropométricas. A massa corporal (kg) será medida com uma balança digital (Filizola®) com precisão de 0,02 kg previamente calibrada.

A estatura (cm) será medida utilizando-se um estadiômetro acoplado à balança digital (Filizola®) com precisão de 0,5 cm. As dobras cutâneas (subescapular, tríceptal, peitoral, suprailíaca, supraespinhal, abdominal, coxa e panturrilha) serão obtidas utilizando-se um plicômetro graduado em milímetros (Lange®). As circunferências (braço contraído e panturrilha) serão mensuradas através de um trena antropométrica com precisão de 0,1 cm (Sunny®) e os diâmetros ósseos (biestilóide rádio-ulnar, biepicondiliano de úmero e biepicondiliano de fêmur) serão obtidos através de um paquímetro antropométrico com precisão de 0,1 cm (Cescorf®). Em seguida serão realizados os testes de campo específicos para o futebol, já rotineiros em seu clube.

As coletas serão realizadas no Clube Atlético Mineiro, localizado na cidade de Belo Horizonte que dispõe de departamento exclusivo de fisiologia, com salas de monitoramento moderno para vários tipos de exame. No momento inicial, no período da manhã do dia 1 do estudo, ocorrerá a primeira coleta de sangue para a genotipagem, onde será retirado 5 mL de sangue de uma veia antecubital, localizada no antebraço. Esta coleta será realizada no clube, dentro da rotina de apresentação, por um profissional da área da saúde com experiência na área, pertencente ao quadro de profissionais do clube. Entretanto, esses dados não serão armazenados, serão somente utilizados nas análises e as sobras serão devidamente descartadas. Nesse mesmo período também será realizada a aquisição de imagens termográficas. Essas coletas serão realizadas nos momentos 12horas, 24 horas, 48 horas e 72 horas após as partidas. No momento de aquisição das imagens termográficas você deverá ficar de sunga. Todas essas coletas serão realizadas atendendo a rotina já existente no clube, pelos profissionais de saúde (médico, fisiologista, preparador físico) do clube, individualmente, em uma sala separada e aclimatizada a 22°C e 65%URA. Para monitoramento dos jogos, 10 minutos antes do início da partida, lhe será entregue no vestiário por um dos pesquisadores um aparelho de posicionamento por satélite (GPS) com um cardiofrequencímetro acoplado (Polar Team System®, Finlândia) para serem utilizados durante a partida.

Todos os seus dados pessoais serão confidenciais, sua identidade não será revelada publicamente em hipótese alguma e somente os pesquisadores envolvidos neste estudo terão acesso a essas informações. Os dados coletados utilizados para fins de pesquisa e ensino, estarão sob a responsabilidade do Dr. Eduardo Mendonça Pimenta e não serão armazenados, serão utilizados nas análises e as sobras serão devidamente descartadas. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo a legislação brasileira (Resoluções Nº 466/12; 441/11 e a Portaria 2.201 do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares), utilizando as informações somente para fins acadêmicos e científicos. Além disto, os dados serão tratados e divulgados de forma agregada, não rastreável. Todos os recursos serão disponibilizados pelo clube de coleta, dessa forma, não haverá necessidade de apoio financeiro da Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais. Para aquisição dos termogramas, os riscos podem ser considerados baixos, já que a Termografia Infravermelha é uma avaliação não invasiva e não ionizante. Assim, a termografia infravermelha não oferecerá risco à integridade física e a saúde do indivíduo. Para evitar um possível constrangimento dos voluntários, não haverá outro participante na sala e será solicitado a presença de um membro da comissão técnica do clube, o que pode proporcionar maior tranquilidade aos voluntários. Em relação aos jogos, todos os procedimentos de segurança são devidamente organizados e direcionados pela Confederação Brasileira de Futebol (CBF), que dispões de uma série de protocolos que atendem aos atletas durante as partidas. As coletas das variáveis cinemáticas (distâncias percorridas, velocidades e acelerações atingidas) serão realizados por meio da utilização do GPS. Os riscos associados a essas coletas são aqueles inerentes a atividade profissional de atletas de futebol, tendo em vista que essas variáveis serão verificadas nos jogos da equipe. Não será realizada qualquer intervenção experimental por parte dos pesquisadores.

Os benefícios da pesquisa estão relacionados ao fornecimento de informações sobre a cinética da termografia, o desempenho de atletas de acordo com seu genótipo do gene ACNT3 em contexto de competição. O melhor entendimento dessa cinética e aspectos genéticos poderão auxiliar possibilitar que profissionais que estão à frente da preparação das equipes possam direcionar suas ações de forma adequada no treinamento físico dos atletas, para prevenir que os jogadores atinjam condições de *overeaching* não-funcional, *overtraining* e minimizar a incidência de lesões. Esses resultados também poderão ser utilizados para aumentar a eficiência do monitoramento da recuperação em resposta ao estresse causado pelas sessões de treino.

Você dispõe de total liberdade para esclarecer as questões que possam surgir durante a pesquisa. Além disso você terá assistência integral e gratuita ao participante, devido a danos decorrentes da participação na pesquisa e pelo tempo que for necessário e poderá buscar indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa. Qualquer dúvida, por favor, entre em contato com os pesquisadores responsáveis pelo estudo, no turno das 13:00 às 17:00, a saber: Dr. Eduardo Mendonça Pimenta, tel. (31) 99156-3142 e Adriel Leal da Costa Santos, (86) 99867-6177 ou com o Comitê de Ética em Pesquisa: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II – 2º andar, sl. 2005 cep. 31270901 - BH/MG, tel. 34094592, email: *coep@prpq.ufmg.br*. Você poderá se recusar a participar deste estudo e/ou abandoná-lo a qualquer momento, sem precisar se justificar e sem que isso seja motivo de qualquer tipo de constrangimento para você. Os pesquisadores podem decidir sobre a sua exclusão do estudo por razões científicas, sobre as quais você será devidamente informados.

Antes de concordar em participar desta pesquisa e assinar este termo, os pesquisadores deverão responder todas as suas dúvidas e, se você concordar em participar do estudo, deve ser entregue uma via deste termo para você. Em caso de dúvida sobre os procedimentos éticos da pesquisa o Comitê de Ética poderá ser contatado para maiores esclarecimentos. Em caso de danos provenientes da pesquisa os voluntários serão devidamente indenizados.

CONSENTIMENTO

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito de todos os dados que li e concordo, voluntariamente, em participar do estudo "*Associação do gene actn3 com as respostas termográficas em membros inferiores de jogadores de futebol de elite em jogos seriados*".

Belo Horizonte _____ de _____de 2022

Assinatura do voluntário: _____

Rubrica do voluntário: _____

Nome: _____

Declaro que expliquei os objetivos deste estudo para o voluntário, dentro dos limites dos meus conhecimentos científicos.

_____

Adriel Leal da Costa Santos
Mestrando em Ciências do Esporte – EEFFTO/ UFMG

_____

Dr. Eduardo Mendonça Pimenta
Orientador e Professor da EEFFTO/ UFMG

CONTATOS

Pesquisador: Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (EEFFTO/UFMG).
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG
CEP 31270-901.
Tel: (31)3409-2325 / (31) 3409-7443
Email: des@eeffto.ufmg.br / empimenta@uol.com.br

COEP – Comitê de Ética em Pesquisa
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Unidade Administrativa II – 2° andar/Sala 2005
Campus Pampulha – Belo Horizonte, MG - CEP: 31270.901
Tel: 3409-4592
Email: coep@prpq.ufmg.br