

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

Lenon Rodrigues Vittola

**A APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA, PÓS-JOGO, PARA
DETECÇÃO DE SINAIS CARDINAIS INFLAMATÓRIOS PRIMÁRIOS, EM
ISQUIOTIBIAIS, DE JOGADORES DE FUTEBOL PROFISSIONAL**

Belo Horizonte

2023

Lenon Rodrigues Vittola

**A APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA, PÓS-JOGO, PARA
DETECÇÃO DE SINAIS CARDINAIS INFLAMATÓRIOS PRIMÁRIOS, EM
ISQUIOTIBIAIS, DE JOGADORES DE FUTEBOL PROFISSIONAL**

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

2024

V845a Vittola, Lenon Rodrigues
2024 A aplicação da termografia infravermelha, pós-jogo, para detecção de sinais cardinais inflamatórios primários, em isquiotibiais, de jogadores de futebol profissional. [manuscrito] / Eduardo Mendonça Pimenta – 2023.
65 f.: il.

Orientador: Eduardo Mendonça Pimenta

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

Bibliografia: f. 50-58

1. Inflamação – Teses. 2. Termografia – Teses. 3. Jogadores de futebol – 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 pela 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 DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

LENON RODRIGUES VITTOLA

Às 14:00 horas do dia 29 de setembro de 2023, a comissão examinadora de dissertação, indicada pelo Colegiado do Programa Pós-Graduação em Ciências do Esporte (PPGCE), reuniu-se, em banca realizada em formato híbrido, para julgar, em exame final, o trabalho de Lenon Rodrigues Vittola, intitulado "A aplicação da termografia infravermelha, pós-jogo, para detecção de sinais cardinais inflamatórios primários, em isquiotibiais, de jogadores de futebol profissional". Abrindo a sessão, o presidente da comissão, Prof. Dr. Eduardo M. Pimenta (UFMG), orientador, após dar a conhecer aos presentes o teor das normas regulamentares do trabalho final, passou a palavra ao candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva 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 M. Pimenta (Orientador) – EEFPTO/UFMG

Prof. Dr. Reginaldo Gonçalves – EEFPTO/UFMG

Prof. Dr. Christiano Eduardo Veneroso – UFMA

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

O resultado foi comunicado publicamente ao candidato pelo presidente da comissão examinadora. Nada mais havendo a tratar, o presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 29 de setembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Reginaldo Gonçalves, Professor do Magistério Superior**, em 05/10/2023, às 15:25, 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 **Eduardo Mendonça Pimenta, Professor do Magistério Superior**, em 07/10/2023, às 08:22, 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 **Christiano Eduardo Veneroso, Usuário Externo**, em 20/11/2023, às 09:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

21/02/2024 19:30

SEJUFMG - 256812 - Ata de Defesa de Dissertação



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
https://sej.ufmg.br/sej/controlador_action.php?acao=documento_conferir&id_documento=257655&info_sistema=0,
informando o código verificador 2863812 e o código CRC 30821588.

Referência: Processo nº 28072.215194/2022-15

SEI nº 256812

AGRADECIMENTOS

Mais uma grande etapa da minha vida está se encerrando neste momento. A entrega dessa dissertação simboliza um momento de vitória e muita gratidão.

Agradeço a Deus, primeiramente, por sempre me guiar pelo melhor caminho, me dando saúde e força. Minha gratidão ao meu orientador, Professor Doutor Eduardo Mendonça Pimenta, por todo o suporte acadêmico, e profissional, durante esse período. Foram muitas conversas, as quais pude absorver ao máximo seus ensinamentos. Hoje me sinto um profissional muito mais preparado para os desafios que virão, muito obrigado.

Não poderia deixar de agradecer um grande amigo que a vida me apresentou, Dr. Miller Gomes de Assis. Minha sincera gratidão pelas inúmeras horas ao telefone, pelo suporte durante esse meu período acadêmico e profissional, pelos conselhos e, principalmente, pelo incentivo diário, tanto para iniciar o mestrado, quanto para finalizá-lo.

Agradeço, também, à minha esposa, Thaís Silva Simonet, por todo apoio, paciência e incentivo. Sem ela esse momento não seria possível, pois foi minha inspiração para me inscrever no processo seletivo. Sua energia positiva e seu otimismo foram meu combustível para vencer.

À minha filha, Maria Eduarda Simonet Vittola, muitíssimo obrigado. Hoje eu respiro por ela. Sua chegada iluminou mais ainda meu caminho. Ela me inspira, todos os dias, a ser sempre melhor, em todos os sentidos.

Aos meus pais, Roberto Vittola e Celenir Rodrigues Vittola, o sentimento de gratidão é enorme. Eles sempre serão o meu exemplo. Sou muito grato pelos ensinamentos e sobre os valores da vida.

Agradeço à minha sogra, Arlete Santos Silva, por todo apoio durante esses 6 anos de convívio. Muitas conquistas só foram possíveis devido aos seu suporte.

A todos os professores que tive durante o programa, muito obrigado.

E, por fim, agradeço também aos meus amigos, colegas de mestrado e de profissão, os quais também fazem parte desta conquista.

“Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova no livro do tempo. Aquilo que colocarmos nela, corre por nossa conta”.

(Chico Xavier)

RESUMO

O futebol é um dos esportes mais praticados no mundo, admitindo características físicas intermitentes. Além disso, é um esporte com alto índice lesivo, na musculatura isquiotibial. Por ser um tipo de lesão que acarreta um maior tempo de afastamento das atividades, e ter uma alta propensão em recidivas, há uma grande preocupação pelos clubes em como preveni-las. O objetivo desse estudo foi avaliar qual porção da musculatura isquiotibial (proximal ou distal) apresenta maiores sinais inflamatórios ao longo de 5 jogos consecutivos. Além disso, verificar em qual momento seria possível observar um pico desse comportamento em relação ao primeiro jogo. A amostra foi composta por 10 atletas profissionais de futebol masculino. A média de idade era de 27,5 anos \pm 4,2, estatura 180,8 \pm 4,5 cm, massa corporal 80,5 \pm 5,7 kg, % de gordura 7,8 \pm 1,1 e % de massa muscular 51,6 \pm 1,4. O protocolo do estudo ocorreu em 3 momentos, em variados dias. No primeiro dia foi realizada a coleta para caracterizar a amostra. Em seguida, os outros 2 momentos foram definidos: a participação na partida oficial, no mínimo 75% da minutagem total, além da captura da imagem termográfica em momentos entre 24-48 horas após a partida. Todas as partidas foram válidas pelo campeonato brasileiro da série B. As imagens termográficas foram capturadas através de uma câmera Flir T-420 e posteriormente analisadas em um software específico (APOLLO®). Para a análise dos dados foi utilizado o delta entre o número de pixels/°C da região proximal em relação a distal. A normalidade dos dados foi verificada através do *Shapiro-Wilk-test*. Além disso, os dados foram tratados utilizando a análise de um fator (ANOVA one way) com medidas repetidas. Para o tamanho de efeito foi utilizado o η^2 , classificado como: pequeno ($0,01 < \eta^2 \leq 0,06$), médio ($0,06 < \eta^2 \leq 0,14$) e grande ($\eta^2 > 0,14$). Os resultados apresentaram maior número de pixels/°C na região proximal, e o pico de delta atingido na quinta partida em relação a primeira ($p=0,025$). Os achados deste estudo corroboram com outras pesquisas, que comprovaram a maior incidência de lesões musculares, de jogadores de futebol, na cabeça longa do bíceps femoral, na junção miotendínea proximal. Além do mais, os resultados obtidos possibilitam traçar estratégias preventivas mais assertivas quanto ao momento de aplicação de um recovery.

Palavras-chave: isquiotibiais; lesões; termografia infravermelha; futebol.

ABSTRACT

Soccer is one of the most practiced sports worldwide, and admits intermittent physical characteristics. The major incidence of injuries occurs in the posteral muscle thigh, in hamstrings. This type of injury promotes a great time of non-activities, and it's more propensive to recidives. For these reasons, the most of teams were worried about it. This study mainly aimed to verify what part of the hamstring muscle (proximal or distal) showed great inflammatory signs throughout five consecutive games. Furthermore, determine which moment presents the highest peak about the first game. Ten professionalis players were analyzed. The ages average was 27,5 years \pm 4,2, height 180 \pm 4,5 cm, body mass 80,5 \pm 5,7 kg, fat mass 7,8 \pm 1,1 and lean mass 51,6 \pm 1,4. The protocol occurred in three different moments: the first day was used to characterize the sample. After this, the players participated in at least 75% of the full game. And the final moment was taking the infrared picture between 24-48 hours after the match. The pictures were taken by Flir T-420 camera and analyzed for a specific software (APOLLO®, version 1.0, BR). Data were calculated by the delta between the number of pixels/°C of the proximal region and distal. The normality test was Shapiro-Wilk. ANOVA one way was used for analyses the data, and the effect size was used η^2 , classified as small ($0,01 < \eta^2 \leq 0,06$), medium ($0,06 < \eta^2 \leq 0,14$) e big ($\eta^2 > 0,14$). The results showed a great number of pixels/°C at the proximal region, and the highest peak in the fifth match when compared with the first game ($p=0,025$). Conclusion: the findings agreed with other researchers, which proved that the major incidence of soccer player injuries is in the biceps femoral muscles, at the proximal long head. Moreover, it could help to improve the prevention strategies of recovery.

Keywords: hamstrings; injuries; Infrared thermography; soccer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 - Grupo muscular IT</i>	23
<i>Figura 2: Comprimento dos músculos posteriores da coxa</i>	23
<i>Figura 3 - (A) representa o gesto biomecânico com o peito do pé. (B) configura o gesto do chute lateral.</i>	26
<i>Figura 4 - Diferentes ciclos da corrida e pico de tensão de alongamento</i>	27
<i>Figura 5- Funcionamento de um termovisor</i>	31
<i>Figura 6 – Imagens de acordo com a linha evolutiva</i>	33
<i>Figura 7 - Fluxo de calor</i>	34
<i>Figura 8 - Representação do espectro eletromagnético</i>	35
<i>Figura 9 - Fatores influenciadores no ganho ou perda de calor</i>	38
<i>Figura 10 - Estrutura da pele e os fenômenos biofísicos envolvidos na termorregulação</i>	39
<i>Figura 11- Termogramas no software Apollo</i>	44

LISTA DE TABELA

<i>Tabela 1 - Caracterização da amostra.....</i>	<i>43</i>
--	-----------

LISTA DE GRÁFICO

<i>Gráfico 1- Resultados ao longo dos 5 jogos seriados</i>	<i>46</i>
--	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS

IT – Isquiotibial

SM – Semimembranoso

ST – Semitendíneo

CLBF – Cabeça longa do bíceps femoral

CCBF – Cabeça curta do bíceps femoral

GPS - Sistema de posicionamento global

TI – Termografia infravermelha

°C – Graus Celsius

IL – Interleucina

IL 1-b – Interleucina -1 beta

IL-6 – Interleucina – 6

TNF – Fator de necrose tumoral

PCR – Proteína-C reativa

M1 – Macrófagos pró-inflamatórios

M2 – Macrófagos anti-inflamatórios

IGF-1 – Fator de crescimento

CS – Células satélite

P/°C – Pixels por grau centígrado

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	OBJETIVO	18
1.2.	HIPÓTESES	18
2.	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1.	CARACTERIZAÇÃO DO ESPORTE	19
2.2.	LESÕES NO FUTEBOL.....	20
2.3.	ANATOMIA DOS ISQUIOTIBIAIS.....	21
2.4.	FUNÇÕES DOS ISQUIOTIBIAIS	24
2.5.	PRINCIPAIS ASPECTOS BIOMECÂNICOS NO FUTEBOL.....	25
2.5.1	Chute	25
2.5.2	Corrida e corrida em altas velocidades	26
2.6.	DANO MUSCULAR E RESPOSTA INFLAMATÓRIA	27
2.7.	TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA	30
2.7.1	Breve histórico.....	31
2.7.2	Princípios físicos da termografia	33
2.7.3	Radiação infravermelha, eletromagnética e espectro eletromagnético	34
2.7.4	Termorregulação	36
2.7.5	Condições para a coleta de imagem.....	39
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1.	CUIDADOS ÉTICOS.....	41
3.2.	PARTICIPANTES.....	41
3.3.	DELINEAMENTO METODOLÓGICO	42
3.3.1	Procedimentos	42
3.3.2	Protocolo de coleta de dados.....	42
3.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	45
4.	RESULTADOS	46
5.	DISCUSSÃO	47
6.	CONCLUSÃO	50
7.	REFERÊNCIAS	13
8.	APÊNDICE	22

1. INTRODUÇÃO

O futebol é um dos esportes mais populares e praticados no mundo. Partidas oficiais consistem em dois tempos de 45 minutos, com quinze minutos de intervalo entre eles. É um esporte que admite características físicas intermitentes, as quais requerem uma complexa demanda fisiológica dos sistemas aeróbio e anaeróbio (Dolci *et al.*, 2020). Apesar de os atletas desempenharem ações de baixa intensidade em aproximadamente 70% da partida, sua frequência cardíaca e temperatura corporal sugerem que o consumo de oxigênio gire em torno de 70% do máximo, explicando, parcialmente, as 150-200 ações de alta intensidade por jogo, indicando uma conversão em taxas de creatina fosfato e glicólise, altamente requisitadas (Bangsbo; Mohr; Krstrup, 2006). Os momentos de alta intensidade, como as acelerações, desacelerações, mudanças bruscas de direção, saltos e choques mecânicos exigem grande demanda neuromuscular, podendo expor o atleta ao desenvolvimento de lesões (Djaoui *et al.*, 2017). As lesões musculares esqueléticas são de ordem multifatorial, e a compreensão da sua complexidade e como os fatores se interligam são de extrema importância para tratá-las ou preveni-las (Bahr; Krosshaug, 2005). Estudos epidemiológicos apontaram uma taxa de 16 a 28 lesões a cada 1000 horas de partida. Além disso, elas podem ser derivadas de outros diferentes fatores, como: calendário congestionado, sobrecarga de treino, idade, fatores genéticos, alta demanda emocional e presença de lesões prévias. Estima-se que 35% das lesões são de ordem muscular (estiramentos), e aproximadamente 40% acometem a região da coxa, mais precisamente o grupo muscular isquiotibial (IT). Estudos sugerem que os motivos para o acometimento nessa região estejam fortemente relacionados a um déficit de força excêntrica e à fadiga muscular. Os laterais e os atacantes são as posições que sofrem maior incidência, e a maioria ocorre no segundo tempo, nos 15 minutos finais de jogo (Arliani *et al.*, 2021; Greig; Siegler, 2009; Margato *et al.*, 2020; Netto *et al.*, 2019).

De acordo com Clebis e Natali, 2001, o processo de fadiga muscular pode ser ocasionado por falhas em estruturas neurais, alterações no sistema nervoso central e mecanismos do sistema contrátil. Acredita-se que a fadiga, pelo mecanismo contrátil, esteja relacionada a depleção dos estoques de ATP e CP, das reservas de glicogênio muscular e acidose láctica. A fadiga temporária é um

fenômeno complexo que ocorre durante a partida de futebol, podendo ser causada por diversas razões, sendo elas de natureza cerebral, redução do pH muscular, redução dos estoques de creatina fosfato ou até mesmo ligada ao lactato muscular. No entanto, este fenômeno pode estar fortemente ligado ao acúmulo de potássio no interstício muscular e a concomitantes distúrbios elétricos em sua célula (Bangsbo *et al.*, 2006).

O complexo isquiotibial é formado pelos músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) e pela cabeça longa do bíceps femoral (CLBF), originando-se na tuberosidade isquiática. São músculos biarticulares, inervados pela porção tibial do nervo ciático. Somando-se a esse grupo muscular, temos a cabeça curta do bíceps femoral (CCBF), a qual possui sua origem na linha áspera do fêmur, sendo inervada pelo nervo fibular comum, tornando-o em um músculo monoarticular (Ernlund; Vieira, 2017). O ST tem sua inserção na tuberosidade da tíbia, formando a pata de ganso, enquanto o SM se insere na face medial da extremidade superior da tíbia, logo abaixo do côndilo lateral. Já o bíceps femoral (BF), apesar de ter origens distintas, tem a mesma inserção, na cabeça da fíbula. A complexidade desse grupo muscular torna difícil uma avaliação uniforme da epidemiologia de lesões e assegura que o gerenciamento de estratégias pós lesão devem manter o foco na individualidade (Carlson, 2008). As lesões em IT podem trazer consequências devastadoras para os atletas, pois a recuperação para este tipo de lesão é mais lenta, além de haver maior incidência de recidivas. Grande parte dessas lesões ocorrem durante a corrida ou sprint, onde diversos fatores podem estar ligados à sua ocorrência (Agré, 1985). Pesquisas relacionadas ao mecanismo de sprint sugerem que o maior risco de lesão ocorre no final da fase de swing (aterrissagem), quando os IT alcançam o máximo comprimento e são submetidos a contração excêntrica antes do calcanhar tocar ao solo (Ahmad *et al.*, 2013). O acometimento pode ser em diferentes locais, tais como: junção miotendínea ou ventre muscular. A junção miotendínea é a parte mais vulnerável no conjunto formado pelo músculo, tendão e osso, e quanto mais proximal a lesão, maior o tempo para o retorno ao esporte. Vários fatores de risco estão relacionados a essas ocorrências, como a falta de flexibilidade, déficit de força ou resistência muscular, desequilíbrio muscular, aquecimento inadequado, retorno as atividades antes do tempo previsto, dentre outras (Van Der Made *et al.*, 2015a). Segundo Van Beijsterveldt *et al.* (2013), o maior fator de risco está associado a lesões prévias.

Apesar de também ocorrerem lesões por contusão, devido ao alto número de contato físico, as distensões são as mais frequentes no futebol. Referindo-se a gravidade, podem ser classificadas em três níveis, leve (grau I), moderada (grau II) e severa (grau III). Nas lesões de grau I há uma pequena ruptura das fibras muscular, no grau II, uma ruptura parcial, enquanto no grau III há uma ruptura total das fibras (Lempainen *et al.*, 2015)

Ekstrand *et al.* (2013) acreditam que a incidência de lesões tem aumentado de forma significativa devido ao aumento da intensidade dos jogos com o passar dos anos. Contudo, defendem a ideia de que esses efeitos negativos possam ser minimizados com a implementação de estratégias preventivas.

Ações de alta intensidade como saltos, sprints, acelerações, desacelerações e mudanças de direção, podem acontecer a cada 2-4 segundos num total de 1200-1400 vezes por jogo (Pimenta *et al.*, 2012). Drust *et al.* (2000) encontraram um valor médio de 19 sprints a cada 4-5 minutos durante uma partida. Castagna *et al.* (2017) observaram que as ações em alta intensidade ocorriam a cada 60 segundos e um esforço máximo a cada 4 minutos. Além disso, jogadores de futebol profissional percorrem, em média, 635m acelerando e 611m desacelerando em alta intensidade ($>2\text{m/s}^2$), e 214m acelerando e 209m desacelerando em intensidade muito elevada ($>3\text{m/s}^2$). Em contrapartida, Harper *et al.* (2019), encontraram valores mais altos para desacelerações em alta e muito alta intensidades comparados às acelerações. Em sua pesquisa, Dalen *et al.*, 2016, encontraram valores que correspondem entre 7% e 10% (76 ações) para acelerações e 5% e 7% (54 ações) para desacelerações, totalizando 603 m e 543 m respectivamente da carga total da partida. Os autores ainda afirmam que o custo metabólico para atingir valores de aceleração de alta intensidade (3m/s^2) pode atingir valores até 5 vezes maior do que de desaceleração, enquanto as desacelerações geram maior estresse mecânico, potencializando o dano muscular.

As acelerações e as desacelerações de alta intensidade têm um significativo impacto na carga mecânica dos jogadores de futebol, além de serem indicadores de dano muscular, significativamente associados a fadiga neuromuscular (Oliva-Lozano *et al.*, 2020). As ações musculares excêntricas causam maiores danos musculares a estrutura músculo esquelética, promovendo respostas inflamatórias, as quais ocasionam dores musculares tardias, edema, aumento da concentração de creatinaquinase (CK) no sangue, redução da amplitude de movimento e força

muscular, alterando a relação força-comprimento da musculatura, fazendo com que a força máxima seja obtida em um comprimento muscular mais longo (BARROSO *et al.*, 2011).

Tidus (2008) define o dano muscular como a perda da função muscular, ocasionada pelo rompimento das estruturas envolvidas na produção de força. Os danos são geralmente atribuídos a desorganização estrutural das fibras musculares, caracterizando-se pela ruptura, alargamento ou prolongamento da linha Z, estabelecida como ponto de contato das proteínas e o suporte para a transmissão de força quando as miofibrilas estão encurtadas (Clarkson; Hubal, 2001a). Nos dias seguintes as ações excêntricas há um declínio na capacidade de produção de força muscular, o que poderia ser considerado um marcador indireto de dano. Diferentes teorias justificam a redução de força muscular, porém, a teoria proposta por Morgan (1990) tem sido a mais aceita na literatura (Hyldahl; Hubal, 2014a; Peake *et al.*, 2017b)

As células musculoesqueléticas respondem aos eventos lesivos em 5 fases inter-relacionadas e dependentes, denominadas: degenerativa (primeira fase após lesão tecidual), inflamatória (fase de infiltração de diferentes células imunes e onde desencadeia o estágio regenerativo), regenerativa (células satélite e células tronco + seus precursores sofrem ativação, expansão e diferenciação), remodelamento (reorganização da arquitetura tecidual) e cicatrização (reconstituição das conexões neuromusculares) (Veneroso; Pimenta, 2023).

A inflamação é uma estratégia protetora de organismos evoluídos em resposta a insultos prejudiciais, como microbiano, infecção, lesão tecidual e outras condições nocivas (Ahmed, 2011). A Inflamação aguda é considerada parte da imunidade inata, primeira linha de defesa contra agentes invasores ou moléculas perigosas (Ahmed, 2011 apud Medzhitov, 2008). Na fase aguda da inflamação, resposta inicial após o dano muscular, ocorre um aumento da vascularização tecidual, desencadeando um aumento da temperatura na região exercitada. Concomitantemente, sinais cardinais são produzidos pelo corpo: calor, rubor (vermelhidão), inchaço, dor e perda da função (Paulsen *et al.*, 2012). O calor é causado devido a vasodilatação cutânea com maior aporte sanguíneo. Esse fenômeno causa a vermelhidão, provocada pelo aumento do número de eritrócitos. O inchaço, ou edema, é resultado da ruptura da membrana plasmática, levando a liberação do conteúdo intracelular, aumento da passagem de líquido dos vasos

sanguíneos dilatados e permeáveis para os tecidos circulantes e infiltração de células no tecido danificado. Essa última fase é responsável por causar alterações na função de terminações nervosas sensoriais, aumentando a sensação de dor (Veneroso; Pimenta, 2023).

O surgimento de novas tecnologias aplicadas ao esporte pode nos propiciar um melhor entendimento das respostas fisiológicas do corpo humano, tanto nas sessões de treinamento quanto no momento competitivo (Marins *et al.*, 2014). Além disso, nos permite monitorar as variações de carga de treinamento. Existem dois tipos principais de monitoramento de cargas de treinamento: a carga interna e a carga externa. A carga interna está associada a respostas psicobiológicas à carga externa, por exemplo, a frequência cardíaca mínima, média e máxima ou a percepção subjetiva de esforço de uma sessão. Em contrapartida, a carga externa está associada às demandas físicas ou trabalho mecânico (Halson, 2014).

Normalmente, em esportes, a carga externa pode ser quantificada por dados derivados através de sistema de posicionamento global (GPS), a partir de unidades de sensores inerciais ou acelerômetros. Dessa forma é possível obter dados derivados da posição, como distâncias percorridas em diferentes velocidades, mudanças na velocidade, além de dados derivados do acelerômetro, como acelerações e desacelerações em diferentes intensidades (Clemente *et al.*, 2020).

A Termografia Infravermelha (TI) é um procedimento não invasivo, capaz de registrar a temperatura da pele através de um termógrafo, o qual recebe e processa a irradiação infravermelha, gerando uma imagem térmica de alta resolução (Fernandes *et al.*, 2012a). Essa Ferramenta pode auxiliar na compreensão dos efeitos termorregulatórios induzidos pelo exercício. Além disso, em conjuntos com outros métodos, nos favorece na avaliação da magnitude do dano muscular, devido a sua alta sensibilidade em detectar alterações fisiológicas através da temperatura da pele (Fernandes *et al.*, 2017a; Marins *et al.*, 2015). Portanto, a TI pode ser um excelente método para detectar alterações fisiológicas em atletas de alto rendimento, como jogadores de futebol, possibilitando traçar estratégias preventivas para evitar futuras lesões.

1.1. OBJETIVO

Identificar, através da Termografia Infravermelha, qual porção dos isquiotibiais (proximal ou distal) apresentará maiores sinais cardinais inflamatórios primários pós-jogo.

1.2. HIPÓTESES

Hipótese nula (H0): Não haverá presença prévia de sinais cardinais primários inflamatórios em nenhuma das porções (proximal ou distal) dos isquiotibias no momento pós-jogo.

Hipótese alternativa (H1): Haverá presença prévia de sinais cardinais primários inflamatórios na porção proximal dos isquiotibias no momento pós-jogo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESPORTE

O futebol é o esporte mais praticado no Brasil e um dos mais praticados no mundo. Partidas oficiais consistem em dois tempos de 45 minutos, com quinze minutos de intervalo entre eles. Quando praticado profissionalmente, sua demanda física se torna muito elevada, aumentando as possibilidades de lesões (Arliani *et al.*, 2021; Dolci *et al.*, 2020). Seus estímulos físicos são intermitentes, alternando momentos de baixa e alta intensidade (Bangsbo *et al.*, 2006). O sistema aeróbio é altamente requisitado, alcançando taxas entre 85-98% da frequência cardíaca máxima (Krustrup *et al.*, 2006). Suas ações intensas, durante uma partida, ocasionam uma alta taxa de quebra de creatina fosfato que, até certo ponto, é ressintetizada durante períodos de baixa intensidade. Entretanto, os valores de repouso de creatina fosfato pode ser até 30% mais baixos em certos momentos do jogo, caso as ações de alta intensidade sejam realizadas em curtos períodos de recuperação (Bangsbo *et al.*, 1994). Estudos apontam que atletas de elite desempenham em média de 150-250 ações curtas de alta intensidade durante uma partida e que os valores da concentração de lactato sanguíneo alcancem valores de 2-14 mmol, indicando que a conversão em energia anaeróbia é elevada em alguns momentos da partida. Ações de alta intensidade como saltos, sprints, acelerações, desacelerações e mudanças de direção, podem acontecer a cada 2-4 segundos num total de 1200-1400 vezes por jogo (Pimenta *et al.*, 2012). Em seu estudo, Dalen *et al.* (2016), encontraram valores que correspondem entre 7% e 10% (76 ações) para acelerações e 5% e 7% (54 ações) para desacelerações, totalizando 603 m e 543 m respectivamente da carga total da partida. Drust *et al.*, 2000 encontraram uma média de 19 sprints a cada 4-5 minutos durante uma partida. Outras pesquisas observaram que as ações em alta intensidade ocorriam a cada 60 segundos e um esforço máximo a cada 4 minutos. Em um estudo analisando ações intensas de curta duração, encontraram dados mostrando que jogadores de futebol profissional percorrem, em média, 635m acelerando e 611m desacelerando em alta intensidade ($>2\text{m/s}^2$), e 214m acelerando e 209m desacelerando em intensidade muito elevada

(>3m/s²) (Castagna *et al.*, 2018). Em contrapartida, (Harper; Carling; Kiely, 2019), encontraram valores mais altos para desacelerações em alta e muito alta intensidades comparados as acelerações e que o custo metabólico para atingir valores de aceleração (3m/s²) pode alcançar valores até 5 vezes maior do que de desaceleração, enquanto as desacelerações geram maior estresse mecânico, potencializando o dano muscular.

2.2. LESÕES NO FUTEBOL

Jogadores de futebol estão altamente expostos a incidência de lesões. Algumas delas podem ser extremamente graves, fazendo com que o atleta fique afastado de suas atividades laborais por um longo período, ou no pior dos cenários, afastando-se em definitivo do desporto (Gouttebarga *et al.*, 2016). Fatores extrínsecos e intrínsecos estão intimamente envolvidos na ocorrência de lesões, dentre eles: idade, gênero, histórico de lesões, baixa flexibilidade, redução da força, desequilíbrio muscular, privação de sono, etc. Ekstrand *et al.* (2023), avaliaram fatores de risco de lesões nos músculos posteriores da coxa em 15 clubes da Liga dos Campeões da Europa. Os resultados mostraram que o risco número 1 está associado a comunicação entre comissão técnica e staff. Em contrapartida, outro fator muito citado está relacionado a carga de treino e calendário de jogos. Alguns estudos epidemiológicos, como o de Netto *et al.* (2019), encontraram valores próximos a 24,9 lesões a cada 1000 horas de exposição às partidas. Em sua revisão sistemática López-valenciano *et al.* (2020) , revelaram valores próximos a 36 lesões/1000 horas em partidas e 3,7 lesões/1000 horas de treino. Os membros inferiores foram os mais acometidos, com valores próximos a 7 lesões/1000 horas de exposição. Além disso, o estudo mostrou que nas 5 principais ligas profissionais da Europa os valores não foram diferentes de outros países (6,8 x 7,6 lesões/1000 horas de exposição geral, respectivamente). Outra pesquisa, realizada com atletas da Major Soccer League (MLS), analisou as incidências de lesões no período entre 2014-2019. Os valores encontrados correspondem a 8,7/1000 horas no geral, 14/1000 horas de jogo e 3,4/1000 horas de treino. A região mais afetada foi a coxa e o grupo muscular foram os isquiotibiais, alcançando valores de 30,8 e 12,3,

respectivamente (Forsythe *et al.*, 2022). Foram avaliados por Ekstrand *et al.* (2013), lesões graves durante um período de 11 anos na UEFA Champions League (Temporadas 2001/2002-2012/2013). Os achados mostraram que enquanto houve redução significativa nas lesões ligamentares, porém, as musculares seguiram elevadas. A região IT foi a mais afetada, resultando em 12,8% do total de lesões, e um aumento de aproximadamente 4% ao ano. Outro estudo, publicado por Ekstrand *et al.* (2023), afirmou que o percentual de lesões em isquiotibiais agora constituem em 24% do total de lesões, atingindo um aumento de quase 12% entre as temporadas 2001/2002 e 2021/2022 da UEFA Champions League. Além disso, o músculo bíceps femoral é afetado antes dos músculos semitendíneo e semimembranoso. Uma das possíveis explicações seria o aumento da intensidade das ações desses atletas, tanto em treino quando em jogos. Outras pesquisas corroboram os resultados encontrados acima, apontando o IT como o local mais afetado em jogadores de futebol (Brito *et al.*, 2012.; Margato *et al.*, 2020).

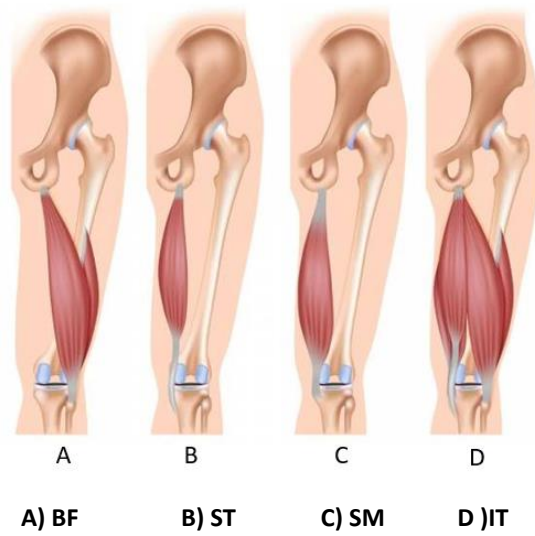
2.3. ANATOMIA DOS ISQUIOTIBIAIS

O quadril, o joelho e o tornozelo são as três articulações primárias dos membros inferiores. No entanto, aqui serão enfatizadas duas: quadril e joelho, por realizarem os movimentos articulares primários dos IT, que são flexão de joelhos e extensão de quadril. A estrutura óssea destas articulações é composta pelo quadril e por mais três ossos localizados nos membros inferiores: o fêmur, a tíbia e a fíbula. O fêmur (osso da coxa) é o mais longo do corpo humano, possuindo morfologia ligeiramente curvada anteriormente e que corre ligeiramente num sentido diagonal, de cima para baixo, da face lateral para medial quando está na posição que requeira extensão de quadril. Sua porção proximal é articulada com a pélvis, enquanto sua porção distal é articulada com a tíbia e com a patela. A patela, entretanto, não possui conexão óssea direta com o fêmur ou a tíbia, mas sim, com estruturas tendíneas. A pelve é constituída por três ossos também. Um deles, o ísquio, é de fundamental importância, pois ali se originam os músculos que compõem o complexo muscular isquiotibial. Esse osso está localizado na região ínfero posterior do osso do quadril. Já a tíbia (canela), localiza-se abaixo do fêmur, medialmente à

fíbula, sendo considerada o segundo maior osso do corpo. Sua porção proximal participa da articulação do joelho, enquanto a distal participa da articulação do tornozelo. Sua diáfise (região central) possui diversos locais para fixação muscular da perna. Além do mais, ela possui dois côndilos, medial e lateral, os quais funcionam como locais de fixação muscular e superfície articular (Crim; Manaster; Rosenberg, 2017; Hansen, 2019; Hart; Miller, 2008; Kirkendall; Sayers, 2020).

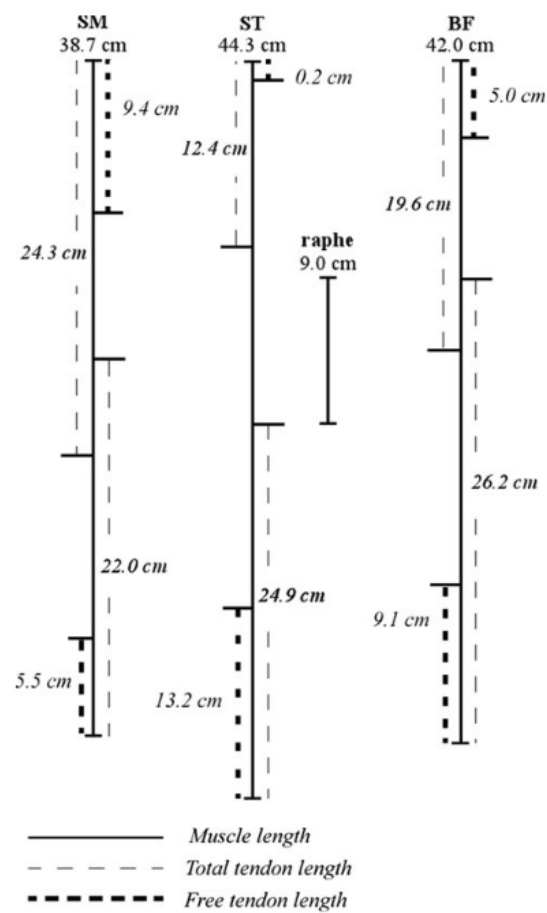
O IT é um grupo muscular formado pelos músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) e pela cabeça longa do bíceps femoral (CLBF), originando-se na tuberosidade isquiática. São músculos biarticulares, inervados pela porção tibial do nervo ciático. Somando-se a esse grupo muscular, temos a cabeça curta do bíceps femoral (CCBF), a qual possui sua origem no lábio lateral da linha áspera do fêmur, dois terços proximais da linha supra condilar e septo intermuscular lateral. É inervada pelo nervo fibular comum, caracterizando-se em um músculo monoarticular. Já a CLBF, origina-se na parte distal do ligamento sacrotuberal e parte posterior da tuberosidade do ísquio. A CCBF une-se ao ventre da CLBF em sua superfície profunda à medida que desce na coxa. Após a união das porções, o BF se estreita em um tendão que se liga lateralmente à cabeça da fíbula, ao ligamento colateral e ao côndilo lateral da tíbia (Bakkum; Cramer, 2013). O ST tem sua origem na tuberosidade isquiática pelo tendão comum com a cabeça longa do BF, tendo sua inserção na parte proximal da superfície medial do corpo da tíbia, formando a pata de ganso. O SM tem origem na tuberosidade isquiática, proximal e lateral ao BF e ST, e se insere na face pósteromedial do côndilo medial da tíbia. A complexidade desse grupo muscular torna difícil uma avaliação uniforme da epidemiologia de lesões e assegura que o gerenciamento de estratégias pós lesão devem manter o foco na individualidade (Carlson, 2008). O comprimento médio desses músculos são $42 \pm 3,4$ para CLBF, $29,8 \pm 3,9$ pra CCBF, $44,3 \pm 3,9$ para ST e $38,7 \pm 3,5$ para SM. Do comprimento total da CLBF, na região proximal, o tendão livre corresponde a aproximadamente 5 cm, o comprimento total do tendão é de 19,6 cm e a junção miotendínea a 14,6 cm. Já na porção distal (CCBF), 9,1 é o valor para tendão livre, 26,2 é o comprimento total de tendão e 17,1 cm corresponde a junção miotendínea (Hart; Miller, 2008; Kirkendall; Sayers, 2020; Van Der Made *et al.*, 2015b).

Figura 1 - Grupo muscular IT



Fonte: Modificado de <https://www.clinicadojoelho.med.br/isquiotibiais/>.

Figura 2: Comprimento dos músculos posteriores da coxa



Fonte: (VAN DER MADE *et al.*, 2015b)

2.4. FUNÇÕES DOS ISQUIOTIBIAIS

Em geral, as principais funções dos isquiotibiais são extensão de quadril e flexão de joelho, contribuindo de forma complexa em atividades como caminhadas e corridas (Kirkendall; Sayers, 2020). O bíceps femoral é um forte flexor de joelhos, além de auxiliar nos movimentos de extensão de quadril e rotação lateral da perna (joelho). O ST e o SM, além de flexionar a perna e estender o quadril, são responsáveis pela rotação medial do joelho (Kishigami *et al.*, 2022; Tubbs *et al.*, 2006). No decorrer da extensão de joelhos, esta musculatura auxilia a limitar a amplitude de movimento durante a fase de aterrissagem do calcanhar ao solo, proporcionando uma estabilidade dinâmica para a translação anteroposterior da tíbia em relação ao fêmur, em conjunto com a estabilidade estática do ligamento cruzado anterior. Neste tipo de execução há uma contração excêntrica, havendo um alongamento controlado dessa musculatura (Linklater *et al.*, 2010). Quanto a ativação dos IT, os padrões se diferenciam de acordo com o tipo de tarefa executada (Bourne *et al.*, 2016; Mcallister *et al.*, 2013). Estes músculos são mais ativados nas fases finais de balanço e no início da fase de apoio durante a corrida (Van Den Tillaar *et al.*, 2017). Estudos utilizando eletromiografia apontaram para uma maior ativação do semimembranoso e da cabeça longa do bíceps em movimentos de extensão de quadril, enquanto para o semitendinoso e para cabeça curta do bíceps houve maior ativação durante a flexão de joelhos (bourne *et al.*, 2018). Os fatores de risco para lesão foram divididos em duas categorias: fatores não modificáveis (idade e genética) e fatores modificáveis, como o déficit de força, fadiga muscular, reduzido padrão técnico e alterações neuromusculares (Van Den Tillaar *et al.*, 2017). O déficit de força em IT está intimamente relacionado ao risco de lesões, sugerindo que essa musculatura seja capaz de produzir força suficiente para conter a força produzida pelo quadríceps em diferentes movimentos (Foreman *et al.*, 2006). Outros achados comprovaram que baixos níveis de força excêntrica e menor fascículo do bíceps femoral (cabeça longa) podem aumentar a probabilidade de lesão e reduzir desempenho (Timmins *et al.*, 2015). Um dos exercícios mais utilizados e eficazes na prevenção de lesões de isquiotibiais por carga excêntrica é o nórdico. Todas as equipes que utilizaram esse exercício como medida preventiva reduziram as taxas de lesões em 51% (Al Attar *et al.*, 2016). Nesse tipo de ação, há

uma maior ativação na musculatura semitendínea (bourne *et al.*, 2016, 2017).

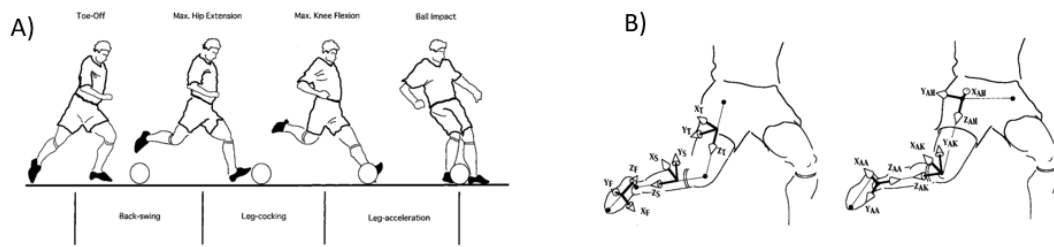
2.5. PRINCIPAIS ASPECTOS BIOMECÂNICOS NO FUTEBOL

2.5.1 Chute

O futebol apresenta vários padrões biomecânicos que geram sobrecarga na musculatura isquiotibial. Dentre eles, destacam-se: variações de chutes e a corrida. (Lees; Nolan, 1998; Mendiguchia *et al.*, 2015; Van Den Tillaar *et al.*, 2017).

O chute é uma tarefa multiplanar, onde muitos movimentos ocorrem no plano sagital. A ativação dos músculos vasto medial, bíceps femoral, gastrocnêmios e tibial anterior são frequentemente estudadas (Rabello *et al.*, 2022). Vários tipos de chutes são realizados em uma partida de futebol. Essas ações, quando são executadas com o peito do pé, visam deslocar a bola com maior velocidade (Cerrah *et al.*, 2020). Em contrapartida, as execuções com a face interna do pé (passes), objetivam maior acurácia (Askling *et al.*, 2007; Kawamoto *et al.*, 2007). Além disso, há uma diferença biomecânica entre eles. O chute com o peito do pé é executado em três fases (inclinação do tronco para trás, perna armada para o chute e aceleração da perna para o contato na bola), onde há maior ativação na extensão de quadril, flexão de joelhos e extensão de joelhos. No chute lateral, somado a esses movimentos, também ocorre rotação lateral de quadril e joelho (Lees; Nolan, 1998; Nunome *et al.*, 2002). Estudos envolvendo ações biomecânicas não encontraram diferenças significativas entre a angulação das articulações do tornozelo e do quadril entre os chutes na fase de impacto na bola. No entanto, houve uma diferença significativa entre eles tratando-se da articulação do joelho (Moahmmad Ahsan, 2018).

Figura 3 - (A) representa o gesto biomecânico com o peito do pé. (B) configura o gesto do chute lateral.



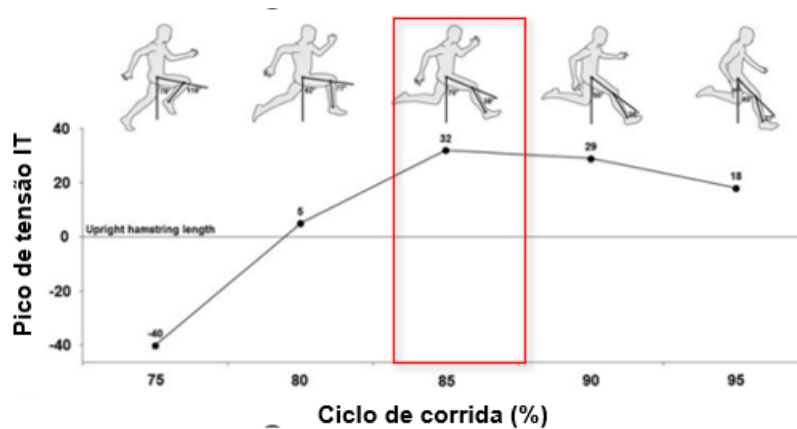
Fonte: (LEES; NOLAN, 1998)

2.5.2 Corrida e corrida em altas velocidades

Nos últimos 15 anos houve um aumento significativo das demandas físicas no futebol, especialmente nas distâncias percorridas em alta intensidade (velocidade entre 19,8 km/h e 25,1 km/h) e em sprints (velocidade acima de 25,1 km/h), atingindo um aumento aproximado de 29% e 50% respectivamente. Esses valores representam 7-11% em alta intensidade e 1-3% em sprint, da distância total percorrida (Gualtieri *et al.*, 2023; Reynolds *et al.*, 2021). O sprint em linha reta foi identificado como a ação mais frequente que precede o gol (Faude; Koch; Meyer, 2012). Apesar destas pesquisas utilizarem esses limiares de velocidade para definir corrida em alta intensidade e em altíssima intensidade (sprint), não há um consenso entre os cientistas do esporte quanto aos valores (Gualtieri *et al.*, 2023). Entre outras lesões ocasionadas nos treinos e nas partidas, a maior incidência ocorre durante a corrida, mais precisamente quando o atleta atinge velocidade próxima da máxima (Askling *et al.*, 2007). Durante o sprint, os músculos ST, SM e CLBF alcançam maior pico de tensão, produção de força e absorção durante a última fase de aterrissagem, quando o calcanhar toca ao solo. Todavia, há uma diferença de carga biomecânica para cada um: a CLBF apresentou maior pico de tensão, dessa forma, mais suscetível a deformações estruturais. O ST apresentou melhor velocidade de contração, e o SM produziu maior pico de força, além de absorver e gerar maior potência. O SM também apresentou maior quantidade de trabalho negativo e positivo (Schache *et al.*, 2012). Um compilado de atividades neuromusculares como

sprints, saltos horizontais, treinamento de força excêntrica, combinados com a sessão de campo também pode ser uma boa estratégia para uma melhora funcional na relação isquiotibiais/quadríceps, proporcionando uma melhora no desempenho e na prevenção de lesões (Mendiguchia *et al.*, 2015). Outros cientistas corroboram com a ideia de que a variação de exercícios, visando ativação de IT de uma forma heterogênea, poderiam ajudar no desenvolvimento da força e reduzir potencialmente as chances de lesão em corridas de alta intensidade (Van Den Tillaar *et al.*, 2017).

Figura 4 - Diferentes ciclos da corrida e pico de tensão de alongamento



Aproximadamente a 85% do ciclo de corrida, o IT alcança seu pico de tensão.

Fonte: (LEES; NOLAN, 1998)

2.6. DANO MUSCULAR E RESPOSTA INFLAMATÓRIA

O dano muscular é definido como a perda da função muscular, ocasionada pelo rompimento das estruturas envolvidas na produção de força. São atribuídos, geralmente, a desorganização estrutural das fibras musculares, caracterizando-se pela ruptura, alargamento ou prolongamento da linha Z, estabelecida como ponto de contato das proteínas e suporte para a transmissão de força quando as miofibrilas estão encurtadas (Tidus 2008; Clarkson & Hubal, 2001b). O dano muscular induzido pelo exercício tem sido um tema muito estudado pelos cientistas do esporte nos últimos 30 anos. É um fenômeno que ocorre, normalmente, em exercícios novos ou incomuns, principalmente naqueles que exijam uma carga excêntrica maior (Xu *et*

al., 2022). Além disso, é caracterizado pela perda de força e massa muscular, dor muscular tardia, inchaço, aumento da circulação de proteínas específicas e redução da amplitude de movimento (Berton *et al.*, 2012; Peake *et al.*, 2017a). Outro ponto importante é que ele desencadeia um processo inflamatório, que é uma resposta defesa que nosso sistema imune ativa para combater agentes estressores, com o intuito de reparar o tecido danificado (Da Silva; Macedo, 2011). Este processo de reparo ocorre em três fases: fase degenerativa, regenerativa e de remodelamento do tecido danificado. Isso acontece devido ao estímulo de várias células presentes no tecido muscular, tais como: células satélite, neutrófilos, macrófagos, linfócitos, células vasculares e fibroblastos (Hyldahl; Hubal, 2014; Smith, 2004).

A degeneração muscular ocorre quando a integridade das miofibrilas estão altamente comprometidas, envolvendo a permeabilidade plasmática, descontrole do fluxo iônico, disfunções de organelas e perda da arquitetura, tornando o dano irreversível. O tecido necrosado estimula as respostas inflamatórias (Forcina; Cosentino; Musarò, 2020). Na inflamação após o dano muscular elevam-se os níveis de neutrófilos, seguido de uma elevação de macrófagos, divididos fenotipicamente em duas subpopulações: macrófagos M1 (M1) e macrófagos M2 (M2). Os macrófagos, oriundos dos monócitos do sangue, migram para o local lesionado por meio de diapedese (sai do vaso para o tecido). Vinte e quatro horas após a lesão, o aumento na quantidade de macrófagos começa a ser considerável, alcançando aumentos significativos nas 48 horas, coincidindo com o declínio no número de neutrófilos. Durante o processo de regeneração, após passarem por estágios de ativação, são categorizados em macrófagos pró-inflamatórios M1 e macrófagos anti-inflamatório M2 (Veneroso; PiMENTa, 2023; Yang; Hu, 2018). Após um trauma ou lesão de qualquer tecido, a resposta de M1 é estimulada, dando início ao processo de fagocitose. Sua atividade é intensa na fase inicial, apresentando atividade pró-inflamatória e aumentando a expressão de citocinas, tais como: fator de necrose tumoral (TNF alfa), interleucina-1 beta (IL1 beta) e interleucina-6 (IL-1).

As citocinas acima desempenham funções importantes para o reparo tecidual. A TNF-alfa atua facilitando o influxo de neutrófilos para o local onde ocorreu o dano, induzindo a fagocitose dos tecidos danificados. Também pode atrair as células tronco para o local do dano e promove a proliferação de células tronco musculares ativando a sinalização do fator de transcrição nuclear-kappa B. A IL, em específico a IL-1-b, é produzida por macrófagos e por células T. Essa citocina possui um papel

muito importante na fase de regeneração das células musculares esqueléticas, pois estimulam a produção de IL-6 nessas células. A IL-6 é produzida por variadas células, incluindo macrófagos, células T e miofibrilas, atuando de forma responsiva, modulando e ativando vias energéticas para o suporte do processo inflamatório. (Pedersen; Steensberg; Schjerling, 2001). Ela tem a capacidade de estimular a migração, proliferação e diferenciação de mioblastos. Também assume uma característica anti-inflamatória, pois estimula o aumento da interleucina-10 na musculatura. Além disso, possui fundamental importância em diversos processos imunológicos e regulação da Proteína C-Reativa (PCR) (Kang *et al.*, 2020; Nara; Watanabe, 2021).

Durante todo o período de regeneração e reparo muscular, a subpopulação de M2, com característica anti-inflamatória e não fagocitária, permanece no músculo danificado. Sua presença pode diminuir a presença de M1 e estimular a ativação de mais M2, contribuindo para o término da resposta inflamatória e promovendo a diferenciação de mioblasto. Essa mudança promove o reparo tecidual e o aumento a expressão gênica envolvida no remodelamento e do tecido conjuntivo e o surgimento da fibrose. O fator de crescimento (IGF-1) atua acelerando a resolução da fase inflamatória, tornando-o importante na fase de regeneração (Veneroso; pimenta, 2023).

Já na fase de reconstrução muscular, as células tronco musculares, também conhecidas como células satélite (CS), assumem uma importante função miogênica e formação de novos miotubos. Após ativadas, iniciam um processo de proliferação, diferenciação e fusão dessas estruturas (Shadrach; Wagers, 2011).

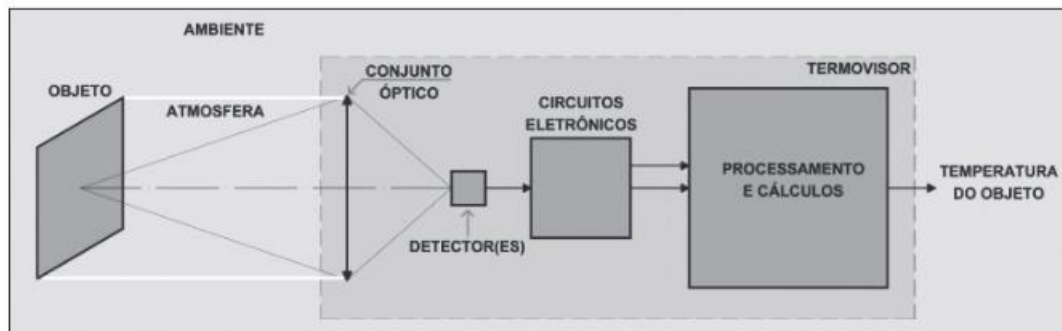
A Inflamação aguda é considerada parte da imunidade inata, primeira linha de defesa contra agentes invasores ou moléculas perigosas (Ahmed, 2011 apud Medzhitov, 2008). Nesta fase, resposta inicial após o dano muscular, ocorre um aumento da vascularização tecidual, desencadeando um aumento da temperatura na região exercitada. Concomitantemente, sinais cardinais são produzidos pelo corpo, como: calor, rubor (vermelhidão), dor e perda da função (Paulsen *et al.*, 2012). O calor e o rubor são decorrentes da vasodilatação, causando uma hiperemia, que é o aumento da circulação sanguínea na região inflamada, devido a concentração de sangue e o aumento da temperatura pelo maior fluxo sanguíneo. O edema é a consequência do aumento da permeabilidade vascular, que permite o extravasamento vascular de líquidos. A dor ocorre devido a compressão das

terminações nervosas pelo edema, por substâncias químicas (citocinas, quimiocinas e prostaglandinas) liberadas no corpo como resposta à injúria tecidual. A perda da função, podendo ser parcial ou total, é decorrente do edema e da dor, acometendo principalmente articulações e tecidos de membros relacionados ao movimento, dificultando atividades de maneira geral (Etienne; Dias Viegas; Viegas, 2021).

2.7. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A captura de imagens térmicas, por meio da termografia infravermelha, é uma técnica segura, não invasiva e não ionizante, permitindo de forma rápida e sem contato a detecção de energia, em forma de irradiação infravermelha, emitida pelo corpo humano (Fernandes *et al.*, 2012b; Marins *et al.*, 2015). Quanto ao funcionamento de um termovisor, o objeto analisado radia uma potência eletromagnética na faixa de frequência do infravermelho, o qual se propaga pela atmosfera até o este aparelho. Quando essa radiação é recebida pelo dispositivo, ela é amplificada em circuitos eletrônicos e convertida em um sinal condicionado para o processamento eletrônico. Alguns cálculos são efetuados para correlacionar a irradiação recebida com a temperatura do objeto, possibilitando a construção da imagem térmica (Veneroso; Pimenta, 2023). A pele humana atua como agente protetor contra perigos ambientais e visa a manutenção do equilíbrio térmico corporal. Fatores intrínsecos e extrínsecos alteram os padrões termo regulatórios, influenciando na variação da sua temperatura (Fernández-Cuevas *et al.*, 2014, 2015). Devido a sua alta sensibilidade em detectar alterações fisiológicas, o termógrafo permite monitorar a magnitude do dano muscular, por exemplo. Esse aparato tecnológico tem se tornado cada vez mais evidente e notório no âmbito desportivo, devido a sua fácil aplicabilidade em medidas preventivas de lesões, no controle de carga de treino ou sendo utilizada de forma auxiliar no diagnóstico de lesão (Côrte *et al.*, 2019; Menezes *et al.*, 2018). Veneroso e Pimenta (2023) acreditam que a TI está ainda em processo de desenvolvimento, juntamente com outras inovações na área da saúde. Sua capacidade de predição a torna imprescindível, ainda mais no esporte alto rendimento. É uma ótima opção para o monitoramento de disfunções e alterações musculares.

Figura 5- Funcionamento de um termovisor



Fonte: (PIMENTA; VENEROSO, 2023)

2.7.1 Breve histórico

O estudo científico do calor e seus efeitos biomédicos é quase tão antigo quanto a medicina. Documentos escritos há milhares de anos sugerem que os antigos Egípcios estavam cientes da relação entre o calor corporal, saúde e cura. A febre era uma das condições mais observadas na medicina (Ring, 2006). Dessa forma, os físicos da época reconheceram a importância do aumento da temperatura corporal (Ring, 2007). Hipócrates desenvolveu um método simples, porém eficaz, para avaliar as variações térmicas: cobrindo o corpo com uma camada fina de lama molhada e observando a secagem desse material. Se uma área da pele secasse rapidamente, enquanto as demais permanecessem molhadas, a suspeita era de um tumor subjacente. Seiscentos anos depois, Cláudio Galeno, filósofo-médico propôs que o calor corporal seria gerado internamente pelo coração e pelo sistema circulatório. Ele e outros médicos utilizavam o termo “calor inato (vital ou natural)” para se referir ao calor produzido dentro do corpo. Aulus Cornelius Celsus, no primeiro século d.C apresentou descrições detalhadas dos sintomas e variedades de febre e designou os sinais de inflamação: calor, dor, rubor e inchaço. Por não haver termômetros, a maneira para perceber alterações de calor era por toque e percepção sensorial (Veneroso; Pimenta, 2023; Andrade Fernandes, 2017).

Em 1800, o pesquisador Frederick William Herschel realizou um experimento para medir o quanto de calor passava pelas diferentes cores. Conforme média a

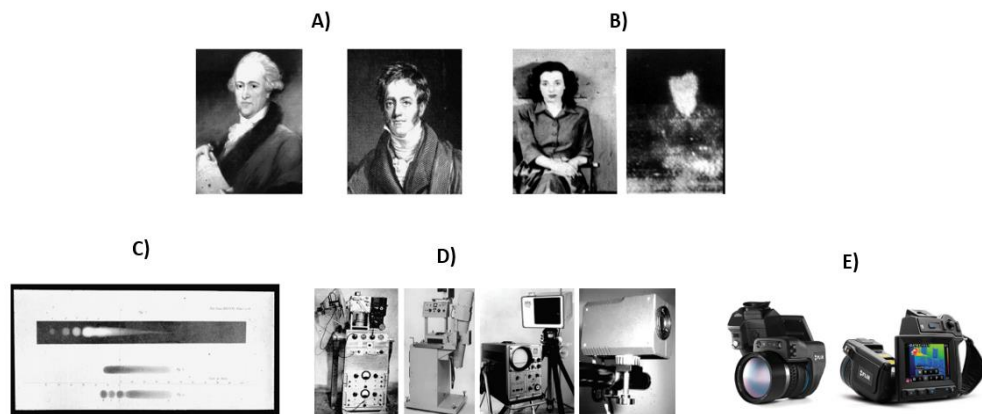
temperatura das cores, ele percebeu que todas apresentavam temperaturas mais altas que dos termômetros controle e que a temperatura aumentava no sentido vermelho do espectro. Após a região vermelha, ele mediu onde não havia luz solar, descobrindo que a temperatura nessa região do espectro era mais elevada que nos lugares onde havia luz incidente, concluindo que naquela região deveria haver uma luz invisível que só poderia ser vista aquecendo um termômetro de calor escuro, nomeando de raios caloríficos. Logo após outros experimentos, descobriu que essa radiação sofria efeitos de reflexão, refração, absorção e transmissão de forma semelhante à das radiações do espectro visível, posteriormente renomeada radiação infravermelha. Herschel demonstrou, através desse experimento, que existem tipos de radiação que não são vistas a olho nu (Ring, 2006, 2007).

No ano de 1840, seu filho, Sir John Frederick William Herschel, seguiu os passos do pai, fazendo experimentos, realizando uma série de experiências sobre o espectro infravermelho, obtendo sucesso usando radiação solar. Uma imagem foi obtida através da focalização da radiação solar sob uma suspensão de partículas de carbono em álcool usando uma lente, método conhecido como evaporografia. A imagem obtida através desse método foi chamada de termograma, nomenclatura utilizada até hoje para descrever imagens feitas por radiação térmica (Ring, 2007).

Em Londres, entre 1940 e 1950, o primeiro sensor eletrônico para radiação infravermelha foi desenvolvido, denominado "PYROSCAN". Na década de 60 as imagens foram melhoradas, porém era um processo lento pois seria gravado em papel (Ring, 2006; Ring E, 1998)

Em 1970, No Reino Unido, a primeira imagem computadorizada (colorida e digitalizada) foi emitida. Ainda na década de 70, em Amsterdam (1974), aconteceu uma conferência para formular diretrizes sobre aplicação e técnicas de coleta. O primeiro estudo a utilizar as diretrizes de coleta foi em 1975, denominado: "Termografia em lesões esportivas e lesões do sistema locomotor devido ao esporte", desenvolvido por Keyl e Lenhart. A evolução das pesquisas foi acentuada entre as décadas de 60 e 80, reduzindo drasticamente entre 90 e 2000, devido ao custo elevado, baixa qualidade dos sensores térmicos e baixa qualidade do processamento imagem. As publicações voltaram a crescer a partir de 2003 (PIMENTA, 2018; Quesada, 2017).

Figura 6 – Imagens de acordo com a linha evolutiva



Fonte: Modificado de (EDUARDO MENDONÇA PIMENTA, 2018; RING, 2006, 2007)

Imagem A) Frederick Herschel (esquerda) e John Herschel (direita). Imagem B) Fotografia tirada em 1949 de uma mulher e seu termograma ao lado. Imagem C) Termograma realizado por John Herschel utilizando a radiação solar. Imagem D) Evolução dos equipamentos tecnológicos utilizados até hoje para a realização de termogramas. Da esquerda para a direita: 1949, 1962, 1970, 2002 e 2023.

2.7.2 Princípios físicos da termografia

Embora a utilização da termografia infravermelha seja uma técnica de fácil execução, faz-se necessário o entendimento sobre como a ferramenta funciona, os princípios físicos que a norteiam e como ocorre a transferência de calor entre espaço e corpo (Quesada, 2017). Dessa forma, é importante ter conhecimento quanto a definição dos conceitos de calor e temperatura.

O calor caracteriza-se pela energia que passa de um corpo com maiores temperaturas para um de menor. Joule ou Watts são unidades usadas para medir o fluxo de calor por unidade de tempo. A Temperatura é a medida de energia interna dos corpos. Pode-se dizer que é a medida da média de energia cinética de um corpo. A unidade de medida na maioria dos países é o grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (Quesada, 2017).

Quando há uma transferência de calor, esse fenômeno denomina-se fluxo de calor. Quando dois corpos estão com a mesma temperatura, eles estão em estado de equilíbrio térmico. Além disso, quando um corpo mantém uma temperatura

constante, também é considerado equilíbrio térmico. Isso pode ser resultado de estar em um ambiente com mesma temperatura. A troca de gradiente de temperatura entre o núcleo do corpo e a pele, e entre a pele e o ambiente são importantes na taxa de transferência de calor. Um exemplo é quando o núcleo precisa dissipar energia. Há um fluxo de transferência do núcleo para a pele. No entanto, caso haja similaridade entre as temperaturas, a dissipação será dificultada. Da mesma forma, se pensarmos no ambiente e a temperatura da pele, acontece o mesmo. Para que haja um resfriamento mais eficaz, necessita-se da diferença de gradiente, estando o ambiente com temperatura menos elevada (Quesada, 2017).

Os conceitos físicos para os fenômenos de fluxo de calor incluem: a condução, que é a transferência de calor por contato entre dois corpos sólidos com diferentes faixas de temperatura (Lei de Fourier). A Convecção, que é a transferência de calor por contato entre um corpo sólido com líquidos ou gases (Lei de resfriamento de Newton). A radiação, onde a transferência de calor do corpo se dá por emissão de radiação eletromagnética. Todos os objetos emitem radiação eletromagnética quando acima do zero absoluto (Lei de Stefan Boltzmann), indicando que a energia radiada é proporcional quarta potência da temperatura. Além disso, os objetos absorvem energia eletromagnética emitidas pelo meio ambiente. E a evaporação é a transformação da água, em estado líquido, para o estado gasoso. (Powers; Howley, 2005; Cunha *et al.*, 2015; Garcia *et al.*, 2017)

Figura 7 - Fluxo de calor



Fonte: (QUESADA, 2017)

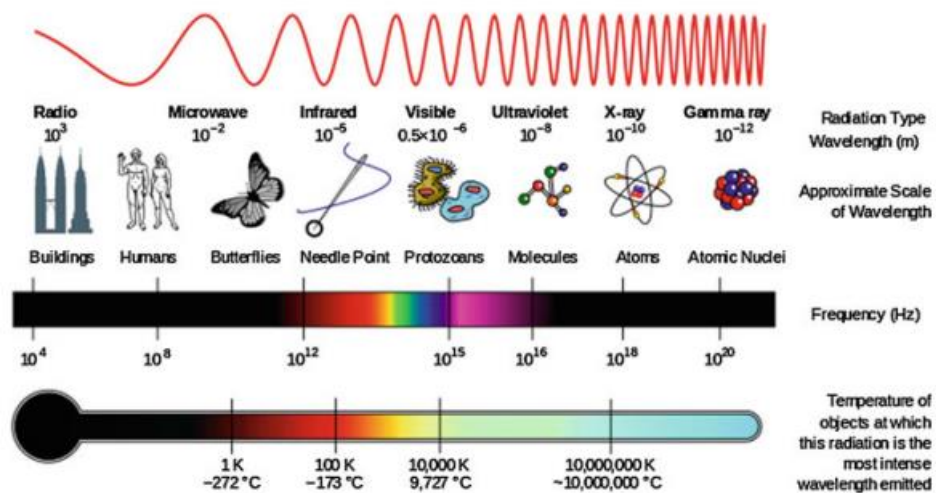
2.7.3 Radiação infravermelha, eletromagnética e espectro eletromagnético

Radiação eletromagnética é a maneira com que a energia propaga através do vácuo ou de um material sem transporte de massa. Uma onda eletromagnética pode

ser definida como a propagação da vibração de um campo elétrico. À proporção que a frequência de onde aumenta, seu comprimento reduz (Quesada,2017).

Espectro eletromagnético: vem do conceito que a radiação eletromagnética tem diferentes características, as quais dependem do comprimento e frequência de ondas. No corpo, o espectro eletromagnético é toda radiação eletromagnética que é emitida ou absorvida, provendo de radiação de baixa energia (ou longa), como as ondas de rádio. Quanto maior o comprimento da onda, mais baixo é o nível de energia. O espectro do raio infravermelho possui três classificações: perto, média e longas distâncias. Existem objetos que ficam invisíveis dependendo da distância do raio infravermelho. O motivo para isso é porque os objetos emitem mais energia em algumas regiões do que em outras. O corpo humano, por exemplo, emite, na maioria das irradiações, em longa distância. Noventa por cento da emissão de infravermelho é de longa distância. O comprimento da onda infravermelha é inversamente proporcional a temperatura. Para diferentes tipos de radiação, diferentes técnicas de imagens foram desenvolvidas na área médica, como o raio-x (Quesada,2017).

Figura 8 - Representação do espectro eletromagnético



Fonte: (QUESADA, 2017)

A radiação infravermelha tem comprimento de onda entre 760 nm e 1mm. Admite a nomenclatura de radiação térmica devido a relação entre temperatura e radiação infravermelha. A temperatura está associada a agitação de moléculas no corpo, ou seja, quanto maior a agitação, maior a taxa de calor produzida. Mudanças na velocidade e agitação das moléculas resultam em emissão de radiação infravermelha. Partindo desse conceito, fica fácil entender por que os corpos com

temperatura acima do zero absoluto emitem radiação infravermelha. É importante lembrar que corpos com temperaturas muito elevadas podem emitir outros tipos de radiação, inclusive UV. Além disso, os corpos são aquecidos durante absorção de radiação.

2.7.4 Termorregulação

A temperatura afeta as estruturas celulares e as vias metabólicas, tornando a regulação da temperatura corporal crítica. Um aumento da temperatura corporal acima de 45°C é capaz de destruir a estrutura proteica das enzimas, resultando em morte, enquanto a redução abaixo de 34°C pode causar lentidão do metabolismo e função anormal cardíaca (Powers; Howley, 2005). Para que haja uma regulação da temperatura corporal, é necessário que a perda de calor e a produção estejam em equilíbrio. Nosso sistema corporal possui estruturas neurais e hormonais responsáveis por regular a taxa metabólica e a perda de calor, devido às alterações de temperatura (Mcardle *et al.*, 2016). O hipotálamo (centro hipotalâmico superior) é o responsável pela regulação da temperatura. Em seu assoalho encontramos um grupo de neurônios especializados, que ajustam a temperatura interna (aproximadamente 37°C) a temperaturas que fogem desse padrão, atuando como um “termostato”. O controle do aumento do calor é realizado pelo hipotálamo anterior, enquanto o hipotálamo posterior é responsável pela reação a redução da temperatura corporal. Dois processos ativam os mecanismos corporais que regulam o calor: receptores térmicos na pele, também conhecidos como Corpúsculos de Ruffini, proporcionam influxo para a área de controle central e as modificações na temperatura sanguínea que perfundem o hipotálamo, estimulam diretamente essa área (Mcardle *et al.*, 2016; Powers; Howley, 2005; Veneroso; Pimenta, 2023). Os receptores térmicos periféricos, responsáveis por responder às modificações rápidas no calor e no frio, existem predominantemente como terminações nervosas livres aferentes na pele. Em maior quantidade encontramos os receptores para o frio, geralmente localizados próximos a superfície cutânea. Os receptores térmicos cutâneos têm como finalidade alertar ao hipotálamo e ao córtex que está havendo perda de calor, para que haja ajustes fisiológicos para a sua conservação

(Charkoudian, 2003; E Côrte; Hernandez, 2016).

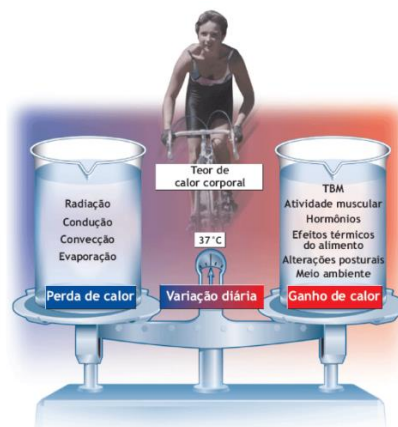
Quando os receptores cutâneos ao frio, tanto na pele quanto no hipotálamo, são estimulados, há uma resposta de constrição dos vasos sanguíneos, com o intuito de minimizar a perda de calor e aumentar sua produção. Quem medeia a resposta termorreguladora ao frio é a temperatura interna. Caso haja uma redução muito significativa da temperatura central, iniciam-se os tremores involuntários, assim como as respostas adicionais do centro pilomotor (arrepios). Esse reflexo de piloereção é eficaz no isolamento cutâneo em animais e não em seres humanos. Tratando-se de respostas hormonais, dois hormônios são produzidos em resposta ao frio, a epinefrina e a norepinefrina, as quais elevam a produção de calor durante a exposição ao frio. Também há uma estimulação da glândula tireóide a liberar tiroxina, responsável por acelerar o metabolismo de repouso(E Côrte; Hernandez, 2016).

Outras respostas fisiológicas são despertadas quando há uma elevação da temperatura central além do ponto de ajuste. Primariamente, glândulas sudoríparas são estimuladas, aumentando a sudorese e a conseqüente perda de calor pela evaporação. Além disso, há uma atividade do centro vasomotor, inibindo o tônus vasoconstritor normal da pele, proporcionando uma elevação do fluxo sanguíneo cutâneo. Quando o corpo retorna a homeostase, tanto a estimulação a sudorese quanto a vasodilatação são cessadas. A perda de calor ocorre por meio de 4 processos físicos (conceituados no tópico anterior): radiação, condução, convecção e evaporação(Charkoudian, 2003; E Côrte; Hernandez, 2016; Simmons *et al.*, 2011; Zorzo *et al.*, 2013).

Na perda de calor por radiação, transferência de calor detectada pela termografia, normalmente o corpo está com a temperatura mais elevada do que o ambiente, fazendo quem haja uma troca de gradiente de temperatura através do ar para objetos sólidos mais frios presentes nele. É uma forma de transferência de calor sem que haja necessidade de contato físico. É importante salientar que o corpo humano emite mais radiação do que absorve, devido às condições ambientais refrigeradas. Na condução, a transferência de calor entre estruturas é um processo lento, por exemplo, a pele com os músculos. Envolve a transferência direta do calor de uma molécula para outra através de um líquido, sólido ou gás. Já o processo de perda por convecção pode ser explicado pela dissipação de calor através do fluxo sanguíneo. O fluxo sanguíneo esquenta no núcleo, sendo transmitido para pele.

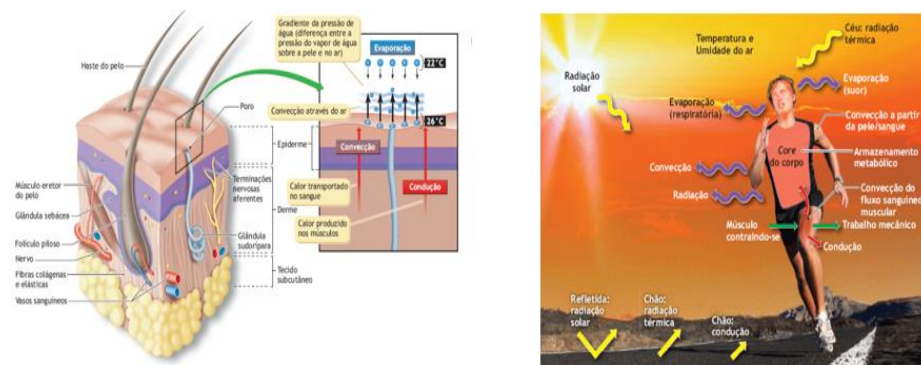
Outra forma por meio de convecção é através do vento, que facilita a evaporação do suor. No contato com a água, a transferência de calor é 100%, devido à convecção. Algumas roupas podem aumentar ou diminuir a perda de calor por convecção (Quesada, 2016; (Mcardle *et al.*, 2016; Powers; Howley,2005; Pimenta; Veneroso, 2023). Quanto ao resfriamento evaporativo, ele funciona apenas para o resfriamento do corpo. Este fenômeno é explicado pela evaporação do suor na pele, principal fenômeno de dissipação de calor em ambientes quentes e durante atividades intensas. Estima-se que para evaporar 1 ml de água, seja necessário 0,584 calorias. O resfriamento evaporativo da pele só ocorre se houver contato entre a pele e o suor. As gotas de suor resfriadas ocasionam a redução da temperatura. Em ambientes muito úmidos, a taxa de evaporação reduz, dificultando esse processo. Em contrapartida, o fluxo de ar, somado a baixa umidade, facilita a evaporação. Isso explica por que a sala onde será realizada uma coleta de imagem termográfica deve manter a umidade relativa do ar com valores entre 40-70% (Veneroso; Pimenta, 2023).

Figura 9 - Fatores influenciadores no ganho ou perda de calor



Fonte: (MARCDLE *et.al*, 2016)

Figura 10 - Estrutura da pele e os fenômenos biofísicos envolvidos na termorregulação



Fonte: (MARCDLE et.al, 2016)

2.7.5 Condições para a coleta de imagem

Com o intuito de minimizar os erros no momento de coleta, foram estabelecidos alguns padrões metodológicos por algumas associações. As condições ideais para a captura de imagem são: utilizar câmeras termográficas com resolução infravermelha mínima de 320 X 240 pixels, além disso, ela deve estar ligada há pelo menos 5-10 minutos antes da avaliação para calibragem. É importante também posicioná-la de forma perpendicular e a uma distância entre 1 e 3 metros em relação ao corpo. Quanto ao local de coleta, é aconselhável que a área da sala tenha medidas entre 6-9 metros quadrados. e com seu pé direito em torno de 2,40 m. Para uma melhor climatização, é necessário um ar-condicionado e mantê-lo em uma temperatura ambiente por volta de 20 C°. A umidade relativa do ar deve manter valores entre 40-70%;

O sujeito avaliado não deve ingerir cafeína ou bebida alcoólica pelo menos 4 horas antes da coleta, além de utilizar cosméticos sobre a região avaliada e fazer uso de medicamentos com ações anti-inflamatórias; Ele deverá subir em um caixote com 10 cm (aproximadamente) de altura, ficar em pé, com os pés paralelos um ao outro e de frente para a câmera. Afasta-los na largura dos ombros e abduzir os braços (aproximadamente 45 graus) com as palmas da mão viradas para a direção da câmera para a coleta da imagem anterior. Para a captura da imagem posterior, o

processo é o mesmo, porém, posicionamento do corpo será de costas para a câmera (Veneroso; Pimenta, 2023; Quesada, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CUIDADOS ÉTICOS

Esse estudo respeitou todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde (Resolução 466/12) envolvendo pesquisas com seres humanos e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (67632922.1.0000.5149). Todos os procedimentos, riscos e benefícios relacionados à pesquisa foram devidamente repassados aos voluntários anteriormente à sua assinatura do termo de consentimento para a participação no estudo.

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 foi composta por 10 atletas profissionais de futebol masculino. Todos faziam parte de um clube da segunda divisão do futebol brasileiro, a série B, e disputam competições organizadas e/ou reconhecidas pela Confederação Brasileira de Futebol (CBF).

Os critérios de inclusão foram: atletas com vínculo profissional com o Clube em atividade e que participem de treinos regulares e competições regidas pela CBF. O atleta deverá estar apto a realizar as atividades e concordar com o termo de livre consentimento e esclarecido.

Os critérios de exclusão foram: a) a não participação do número jogos

sequenciais estabelecidos para a coleta (5 jogos), por qualquer que seja a razão; b) atletas que estejam fazendo uso de qualquer medicamento que possa influenciar na análise das respostas inflamatórias; c) ter participado menos de 75% da minutagem total de cada partida.

3.3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO

3.3.1 Procedimentos

O estudo foi realizado durante o campeonato brasileiro da série B. A escolha desse período foi devido ao nível de importância dessa competição nos objetivos traçados por atletas e comissão técnica, tornando-a mais competitiva. Além disso, o nível de condicionamento físico entre os atletas, nessa fase, está mais equalizado, o que reduz a possibilidade de uma discrepância significativa nas respostas inflamatórias. As análises das respostas inflamatórias tiveram a duração de 5 jogos consecutivos, e as imagens termográficas foram capturadas entre 24-48 horas após cada partida. Somado a esses momentos, foi utilizado um dia prévio ao primeiro jogo para análise de composição corporal.

3.3.2 Protocolo de coleta de dados

No primeiro dia de estudo, para caracterização amostral, os sujeitos foram submetidos a uma avaliação física, na qual a massa corporal, altura e dobras cutâneas foram medidas para calcular o percentual de gordura (Jackson; Pollock, 1978). Para isso foi utilizado um adipômetro científico da marca Prime Med A10 para mensurar as dobras cutâneas, uma balança da marca Welmy W-200 para verificar massa corporal e um estadiômetro de parede da marca Avanutri para verificar a estatura. Essa avaliação ocorreu, somente, um dia antes da primeira partida oficial.

Em seguida, os atletas realizaram uma sessão de treinamento específico de campo, com exercícios, regras e táticas pré-estabelecidas e propostas pela comissão técnica. Após o término do treino, todos foram para o hotel, entrando em regime de concentração para o jogo, realizando todas as refeições sob a supervisão do nutricionista do clube. Esse procedimento ocorreu previamente em todas as partidas, mantendo o padrão.

Tabela 1 - Caracterização da amostra

VARIÁVEIS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Idade (anos)	27,5	±4,2
Estatura (cm)	180,8	±4,5
Massa corporal (kg)	80,5	±5,7
Percentual de gordura	7,8	±1,1
Percentual de massa muscular	51,6	±1,4

Em um segundo momento, as respostas inflamatórias dos atletas foram analisadas seguindo um protocolo de 5 jogos consecutivos. As partidas oficiais seguiram todas as regras regulamentadas pela International Football Association Board.

Outro momento da pesquisa foi coletar as imagens termográficas após cada partida. Todas as aquisições dos termogramas respeitaram um intervalo de 24-48 horas pós-jogo, variando de acordo com a programação semanal estabelecida pela comissão técnica em virtude do calendário competitivo. A aquisição dos termogramas foi realizada em sala específica, com temperatura ambiente entre 20-22°C e umidade relativa do ar entre 50-65%. O índice de emissividade foi ajustado para 0.98. Um fundo preto foi colocado atrás do sujeito e a câmera foi mantida a uma distância de 1,5 metros dele, que usava apenas sunga. Antes da captura dos termogramas, os participantes permaneceram 5 minutos dentro da sala de coleta para a troca de gradiente de temperatura entre o corpo e o ambiente. Cinco termogramas (visão posterior dos membros inferiores) foram capturados usando um termovisor (FLIR®, T420), com resolução 320 x 240 pixels, faixa de medição de -20 a +650°C, a acurácia de $\pm 2^\circ\text{C}$, sensibilidade $\leq 0.045^\circ\text{C}$ a 30°C , banda espectral de infravermelho de 7,5 μm a 13 μm , taxa de atualização de 60Hz, com foco automático e resolução FULL HD. Por fim, as imagens foram selecionadas e visualizadas em

software específico (APOLLO® versão 1.0, BR) para análise pelo método de termopixelgrafia. Esse método foi desenvolvido com os conceitos apresentados por Barcelos *et al.*, 2014 e Fernandes *et al.*, 2018, os quais consistem em uma análise da frequência do número de pixels e seu percentual separados por faixas de temperatura. Dessa forma, possibilita-se quantificar os percentuais das frequências do número de pixels, divididos em faixas de temperatura (Fernandes *et al.*, 2017b). Essas faixas de temperatura são classificadas da seguinte maneira: a) zona fria (28-29 °C + 29-30 °C + 30-31 °C); b) zona média (31-32 °C + 32-33 °C); c) zona quente (33-34 °C + 34-35 °C + 35-36 °C) (Fernandes *et al.*, 2017).

O delta de pixels/°C entre região proximal e região distal foi calculado da seguinte forma:

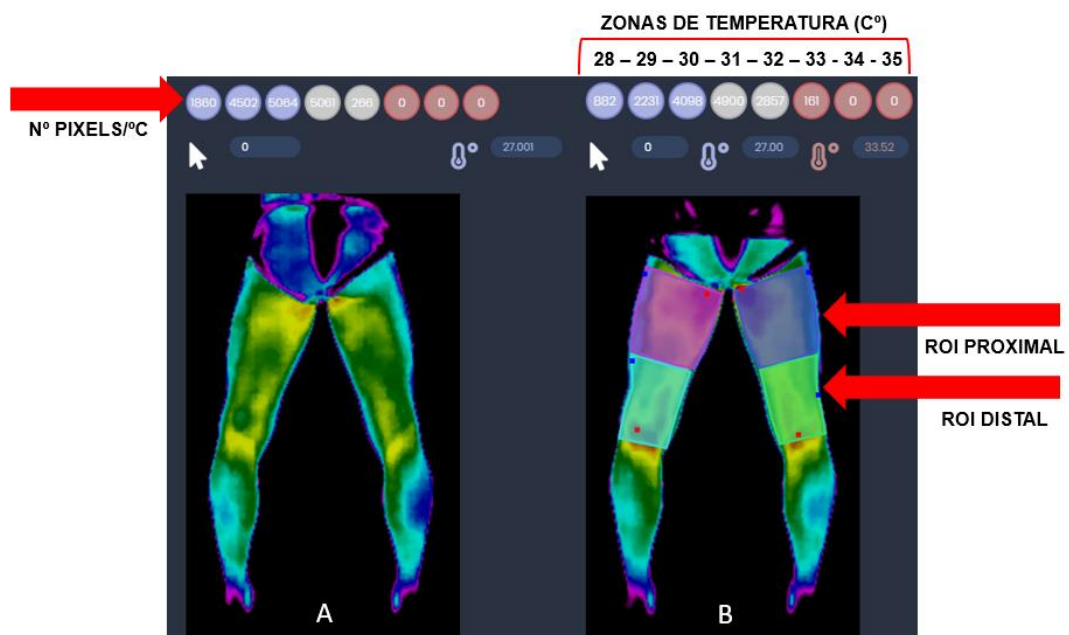
$$\Delta P/^{\circ}\text{C} = (\sum \text{pixels ZQP}) - (\sum \text{pixels ZQD})$$

ZQP = zona quente proximal

ZQD = zona quente distal

P/°C = pixels por grau centígrado

Figura 11- Termogramas no software Apollo



Fonte: Própria

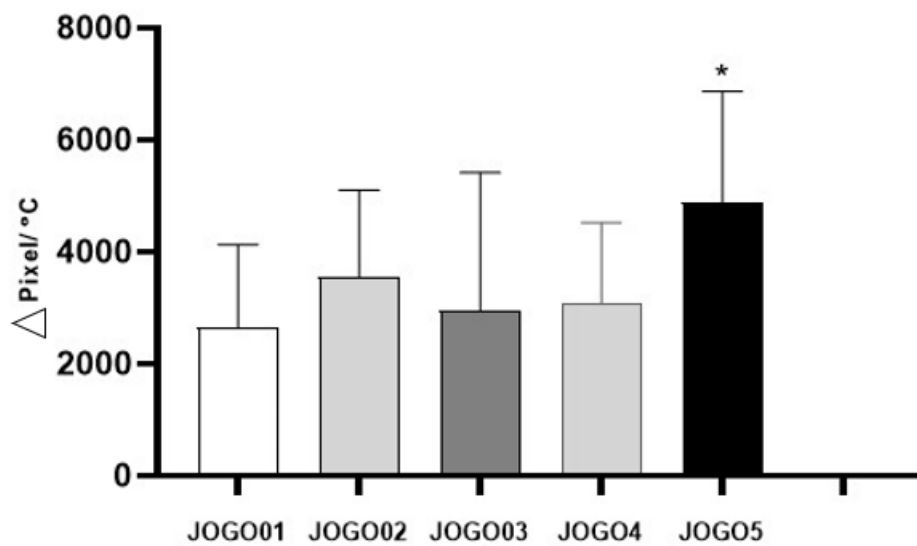
3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise dos dados de cada partida foi utilizado o delta entre o número de pixels/°C da região do proximal em relação a porção distal. A normalidade dos dados foi verificada através do Shapiro-Wilk-test. Além disso, os dados foram tratados utilizando a análise de um fator (ANOVA one way), com medidas repetidas. Para o tamanho de efeito foi utilizado o η^2 , classificado como: pequeno ($0,01 < \eta^2 \leq 0,06$), médio ($0,06 < \eta^2 \leq 0,14$) e grande ($\eta^2 > 0,14$).

4. RESULTADOS

Os resultados da pesquisa mostraram que os valores encontrados no $\Delta P/^{\circ}\text{C}$, em zonas quentes, apontaram elevados números de pixels de alta temperatura na região proximal em relação a distal, atingindo seu pico de variação no jogo 5 em relação ao jogo 1 ($F=2,52$, $p=0,025$, $n_2=0,042$).

Gráfico 1- Resultados ao longo dos 5 jogos seriados



Varição de pixels entre região proximal e distal em cada partida. Todas apresentaram valores mais altos para a região proximal, sendo seu pico na quinta partida.

5. DISCUSSÃO

Os resultados desse estudo fornecem evidências de que há presença de maiores sinais inflamatórios na região proximal do que na distal em momentos entre 24-48 horas pós-jogo, além de ter ocorrido um maior pico de variação no número de pixels/°C entre as regiões na quinta partida em relação a primeira, tratando-se de jogos consecutivos.

Esses achados corroboram com relatos na literatura de que as lesões em isquiotibiais por estiramento acometem, em grande proporção, a junção miotendínea da região proximal, onde a força é concentrada (Hoskins; Pollard, 2005; Slavotinek; VERRALL; Fon, 2002). Sua maior incidência ocorre no músculo BF (valores próximos a 80%), mais precisamente na junção miotendínea da cabeça longa (Bourne *et al.*, 2016; Ekstrand *et al.*, 2013, 2023b; Schuermans *et al.*, 2014).

Uma pesquisa, publicada recentemente, correlacionou a imagem do momento da lesão (vídeo) com o exame por ressonância magnética, visando um melhor entendimento quanto ao gesto biomecânico que precede o momento lesivo. Jogadores de futebol da Finlândia e da Espanha, com idades entre 18-40 anos participaram do estudo. Setenta por cento do total ocorreram em corridas de intensidades alta e muito alta, afetando a região proximal do BF de forma isolada (Jokela *et al.*, 2023).

Outro estudo, avaliou a distribuição anatômica de lesões agudas de IT, local de acometimento e extensão de edema. Crema *et al.* (2016), analisaram 275 jogadores de futebol. Todas as lesões foram detectadas por ressonância magnética. Os resultados constataram que a prevalência de lesões foi em região proximal da cabeça longa do BF. Além disso, a região proximal também apresentou extensão de edema mais acentuado.

Outra investigação abrangendo lesões em IT observou, por meio de imagem por ultrassom, 38 atletas da primeira divisão colegial americana, NCAA. Foram levados em consideração a musculatura atingida e o local anatômico. Os resultados revelaram que a maior existência foi registrada no músculo ST, seguido pelo BF (valores próximos a 68% e 24%, respectivamente). Contudo, em ambas as musculaturas, a região proximal apresentou maior relação, atingindo valores próximos a 60% (Hassid; Warrick; Ray, 2023).

Em sua pesquisa, analisando 61 lesões em IT de acordo com o tempo de retorno total às atividades na Premier League, Shamji *et al.* (2021), conseguiram comprovar que houve prevalência no músculo BF, na junção miotendínea proximal. Em contrapartida, as recidivas de IT acometeram em maior parte na região distal, atingindo tanto a cabeça longa quanto a cabeça curta do BF. Nesta ocasião 36 atletas foram incluídos no estudo.

Schache *et al.* (2012) quantificaram a carga biomecânica sobre a musculatura isquiotibial durante um sprint e compararam a carga entre as diferentes musculaturas (ST, SM, CLBF e CCBF). Os resultados mostraram que o ST, SM e CLBF produzem força durante a fase terminal de aterrissagem e a fase de contato total do pé ao solo, havendo um maior pico de tensão musculotendíneo no BF, ocasionando elevada demanda mecânica sobre essa musculatura. A musculatura semitendínea apresentou maior velocidade de alongamento, enquanto o SM atingiu valores mais elevados de produção de força musculotendínea. Outro ponto interessante citado no estudo, foi referente ao ângulo de penação do BF, o qual apresenta valor mais baixo em relação aos demais, acarretando uma transferência de força mais acentuada do músculo para o tendão. Já a CCBF apresentou produção de força também na fase final de aterrissagem, porém, durante a fase de balanço isso ocorreu de forma tardia, quando o pé começa a reduzir o contato com o solo, gerando a elevação do calcanhar.

O gesto biomecânico do chute também envolve altos níveis de ativação no BF e no ST. Quando o atleta está em movimento e a perna dominante está sendo fletida, a perna de apoio está começando a aterrissar, realizando um movimento de desaceleração. Este movimento se assemelha ao mecanismo da corrida, porém, há uma frenagem com maior intensidade, gerando mais sobrecarga excêntrica (Navandar, 2016)

Tanto o ST quanto o BF estão engajados (de forma sinérgica) em alta atividade muscular excêntrica durante a fase de aterrissagem, pois enquanto o BF está sendo mais ativado quando o pé está começando a tocar no solo, o ST atinge sua maior ativação quando essa ação é finalizada. Um desequilíbrio compensatório entre ativação e recrutamento muscular dessas musculaturas poderiam desencadear fatores de risco para lesões (Schuermans *et al.*, 2014). Outras pesquisas reforçam a ideia de que uma coordenação intra e intermuscular prejudicada, entre essas duas musculaturas, pode predispor o atleta a lesões e/ou

recidivas de IT (opar; williams; Shield, 2012; Sole *et al.*, 2012). Danielsson *et al.*, 2020 também relataram maior suscetibilidade de lesões em IT na última fase de aterrissagem associadas a uma sobrecarga excêntrica. Esse tipo de carga acarreta um maior estresse muscular, potencializando os seus danos (Harper; Carling; Kiely, 2019).

6. CONCLUSÃO

O estudo permitiu concluir que há uma maior resposta inflamatória primária na região proximal dos IT em comparação a porção distal. Além disso, em jogos seriados, ela apresentou maior pico na última partida (5ª) em relação à primeira. Esses achados podem contribuir para prevenção de lesões nesse grupo muscular, pois apesar de os mecanismos que ocasionam lesões em isquiotibiais serem de ordem multifatorial, envolvendo fatores modificáveis e não modificáveis, traçar estratégias de medidas preventivas como: quando, onde, o que e por que trabalhar, podem auxiliar na performance e na longevidade do atleta no âmbito desportivo de alto rendimento.

7. REFERÊNCIAS

AGRE, C. J. Hamstring Injuries: Proposed Aetiological Factors, Prevention, and Treatment. **Sports Medicine**, v. 2, p. 21–33, 1985.

AHMAD, C. S. *et al.* Evaluation and management of hamstring injuries. **American Journal of Sports Medicine**, v. 41, n. 12, p. 2933–2947, dez. 2013.

AL ATTAR, W. S. A. *et al.* Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Medicine**, v. 47, n. 5, p. 907–916, 1 maio 2016.

ANDRADE FERNANDES, A. DE. Application of Infrared Thermography in the Assessment of Muscle Damage in Elite Soccer Athletes. **MOJ Orthopedics & Rheumatology**, v. 8, n. 5, 8 ago. 2017.

ARLIANI, G. G. *et al.* Prospective Study Of Injuries Occurred During Brazilian Football Championship In 2019. **Acta Ortopedica Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 207–210, 2021.

ASKLING, C. M. *et al.* Acute first-time hamstring strains during high-speed running: A longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings. **American Journal of Sports Medicine**, v. 35, n. 2, p. 197–206, fev. 2007.

BAHR, R.; KROSSHAUG, T. Understanding injury mechanisms: A key component of preventing injuries in sport. **British Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 6, p. 324–329, jun. 2005.

BAKKUM, B. W.; CRAMER, G. D. Muscles That Influence the Spine. Em: **Clinical Anatomy of the Spine, Spinal Cord, and Ans.** third ed. Lombard, Illinois: Elsevier Inc., 2013. p. 98–134.

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, jul. 2006.

BARCELOS, E. Z. *et al.* A combined method for segmentation and registration for an advanced and progressive evaluation of thermal images. **Sensors (Switzerland)**, v. 14, n. 11, p. 21950–21967, 19 nov. 2014.

BARROSO, R. *et al.* Effect of the Number and the Intensity of Eccentric Muscle Actions on Muscle Damage Markers. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 17, n. 6, p. 397–400, nov. 2011.

BERTON, R. P. *et al.* Dano muscular: resposta inflamatória sistêmica após ações

excêntricas máximas. **Revista brasileira de Educação Física e Esporte.**, v. 26, n. 3, p. 367–374, jul. 2012.

BOURNE, M. N. *et al.* Muscle activation patterns in the Nordic hamstring exercise: Impact of prior strain injury. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 26, n. 6, p. 666–674, 1 jun. 2016.

BOURNE, M. N. *et al.* Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. **British Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 13, p. 1021–1028, 1 jul. 2017.

BOURNE, M. N. *et al.* An Evidence-Based Framework for Strengthening Exercises to Prevent Hamstring Injury. **Sports Medicine**, v. 48, n. 2, p. 251–267, 1 fev. 2018.

BRITO, J. *et al.* Injuries in Portuguese Youth Soccer Players During Training and Match Play. **Journal of Athletic Training**, v. 47, n. 2, p. 191–197, 2012.

CARLSON, C. The natural history and management of hamstring injuries. **Current Reviews in Musculoskeletal Medicine**, p. 120–123, 28 fev. 2008.

CASTAGNA, C. *et al.* Evaluation of the match external load in soccer: Methods comparison. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. 4, p. 490–495, 2017.

CASTAGNA, C. *et al.* Reliability characteristics and applicability of a repeated sprint ability test in young Male soccer players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 32, n. 6, p. 1538–1544, 2018.

CERRAH, A. O. *et al.* Developmental differences of kinematic and muscular activation patterns in instep soccer kick. **Sports Biomechanics**, 2020.

CHARKOUDIAN, N. Skin blood flow in adult human thermoregulation: How it works, when it does not, and why. **Mayo Clinic Proceedings**, v. 78, n. 5, p. 603–612, 1 maio 2003.

CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Authors: Exercise-Induced Muscle Damage in Humans Literature Review Contraction-Induced Muscle Injury. **Am. J. Phys. Med. Rehabil.** •, v. 81, n. 11, 2001a.

CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Authors: Exercise-Induced Muscle Damage in Humans Literature Review Contraction-Induced Muscle Injury. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 81, n. 11, p. 52–69, out. 2001b.

CLEBIS, N. K.; NATALI, M. R. M. Lesões musculares provocadas por exercícios excêntricos. **Revista Brasileira de Ciências e Movimento**, v. 9, n. 4, p. 47–53, out. 2001.

CLEMENTE, F. M. *et al.* Accelerometry-based variables in professional soccer players: Comparisons between periods of the season and playing positions. **Biology of Sport**, v. 37, n. 4, p. 389–403, 2020.

CÔRTE, A. C. *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, 1 jan. 2019.

CREMA, M. D. *et al.* Acute hamstring injury in football players: Association between anatomical location and extent of injury-A large single-center MRI report. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 19, n. 4, p. 317–322, 1 abr. 2016.

CRIM, J. R.; MANASTER, B. J.; ROSENBERG, Z. S. **SECOND EDITION**. 2. ed. Columbia: Elsevier, 2017. v. 1

CUNHA, E. E.; LUIZ, Q.; LIA, R. B. **INTRODUÇÃO À TRANSFERÊNCIA DE CALOR**., out. 2015.

DA SILVA, F. O. C.; MACEDO, D. V. Exercício físico, processo inflamatório e adaptação:Uma visão geral. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 13, n. 4, p. 320–328, 2011.

DALEN, T. *et al.* PLAYER LOAD, ACCELERATION, AND DECELERATION DURING FORTY-FIVE COMPETITIVE MATCHES OF ELITE SOCCER. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 30, n. 2, p. 351–359, 2016.

DANIELSSON, A. *et al.* The mechanism of hamstring injuries- A systematic review. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 21, n. 1, 29 set. 2020.

DJAOUI, L. *et al.* Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. **Physiology and Behavior**, v. 181, p. 86–94, 1 nov. 2017.

DOLCI, F. *et al.* Physical and Energetic Demand of Soccer: A Brief Review. **Strength and Conditioning Journal**, v. 42, n. 3, p. 70–77, 1 jun. 2020.

DRUST, B.; REILLY, T.; CABLE, N. T. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. **Journal of Sports Sciences**, v. 18, n. 11, p. 885–892, 2000.

E CÔRTE, A. C. R. E.; HERNANDEZ, A. J. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 22, n. 4, p. 315–319, 1 jul. 2016.

EDUARDO MENDONÇA PIMENTA. **TERMOGRAFIA E A CIÊNCIA DO ESPORTE APLICADAS AO FUTEBOL**. Belo Horizonte - MG: [s.n.]. Disponível em: <<https://apollo.omnilab.ai/>>. Acesso em: 29 ago. 2023.

EKSTRAND, J. *et al.* Fewer ligament injuries but no preventive effect on muscle injuries and severe injuries: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. **British Journal of Sports Medicine**, v. 47, n. 12, p. 732–737, ago. 2013.

EKSTRAND, J. *et al.* Risk factors for hamstring muscle injury in male elite football: Medical expert experience and conclusions from 15 European Champions League

clubs. **BMJ Open Sport and Exercise Medicine**, v. 9, n. 1, 24 jan. 2023a.

EKSTRAND, J. *et al.* Hamstring injury rates have increased during recent seasons and now constitute 24% of all injuries in men's professional football: the UEFA Elite Club Injury Study from 2001/02 to 2021/22. **British Journal of Sports Medicine**, v. 57, n. 5, p. 292–298, 1 mar. 2023b.

ERNLUND, L.; VIEIRA, L. DE A. Lesões dos isquiotibiais: artigo de atualização. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 52, n. 4, p. 373–382, 1 jul. 2017.

ETIENNE, R.; DIAS VIEGAS, F. P.; VIEGAS, C. Pathophysiological aspects of inflammation and drug design: An updated overview. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 1, p. 167–191, 1 jan. 2021.

FAUDE, O.; KOCH, T.; MEYER, T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 7, p. 625–631, abr. 2012.

FERNANDES, A. A. *et al.* Evaluation of skin temperature during exercise by infrared thermography: a systematic review 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, 26 ago. 2012b.

FERNANDES, A. DE A. *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, 1 jun. 2017a.

FERNANDES, A. DE A. *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, 1 jun. 2017b.

FERNANDES, T. L. *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.

FORCINA, L.; COSENTINO, M.; MUSARÒ, A. Mechanisms Regulating Muscle Regeneration: Insights into the Interrelated and Time-Dependent Phases of Tissue Healing. **Cells**, v. 9, n. 5, p. 2–28, 22 maio 2020.

FOREMAN, T. K. *et al.* Prospective studies into the causation of hamstring injuries in sport: A systematic review. **Physical Therapy in Sport**, v. 7, n. 2, p. 101–109, 13 fev. 2006.

FORSYTHE, B. *et al.* Incidence of Injury for Professional Soccer Players in the United States: A 6-Year Prospective Study of Major League Soccer. **Orthopaedic Journal of Sports Medicine**, v. 10, n. 3, 23 mar. 2022.

GARCIA, R. L. *et al.* Resfriamento de um cilindro de aço: Estudo experimental da convecção e radiação do calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, 2017.

GOUTTEBARGE, V. *et al.* Are severe musculoskeletal injuries associated with symptoms of common mental disorders among male European professional footballers? **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 24, n. 12, p. 3934–3942, 1 dez. 2016.

GREIG, M.; SIEGLER, J. C. Soccer-Specific Fatigue and Eccentric Hamstrings Muscle Strength. **Journal of Athletic Training**, v. 44, n. 2, p. 180–184, abr. 2009.

GUALTIERI, A. *et al.* High-speed running and sprinting in professional adult soccer: Current thresholds definition, match demands and training strategies. A systematic review. **Frontiers in Sports and Active Living**, v. 5, p. 1–16, 2023.

HALSON, S. L. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. **Sports Medicine**, v. 44, n. 2, p. 139–147, 1 nov. 2014.

HANSEN, J. T. **Netter's Clinical Anatomy**. 4. ed. Philadelphia, PA.: Elsevier, 2019.

HARPER, D. J.; CARLING, C.; KIELY, J. High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. **Sports Medicine**, v. 49, n. 12, p. 1923–1947, 1 dez. 2019.

HART, J. A.; MILLER, M. D. **Netter's Musculoskeletal Flash Cards**. 1. ed. Philadelphia: Saunders, 2008. v. 1

HASSID, B. V.; WARRICK, A. E.; RAY, J. W. Hamstring Strain Ultrasound Case Series: Semitendinosus Injuries Dominant in NCAA Division I Athletes. **Journal of Athletic Training**, p. 1–18, 1 set. 2023.

HOSKINS, W.; POLLARD, H. The management of hamstring injury - Part 1: Issues in diagnosis. **Manual Therapy**, v. 10, n. 2, p. 96–107, 2005.

HYLDAHL, R. D.; HUBAL, M. J. Lengthening our perspective: Morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. **Muscle and Nerve**, v. 49, n. 2, p. 155–170, fev. 2014a.

HYLDAHL, R. D.; HUBAL, M. J. Lengthening our perspective: Morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. **Muscle & Nerve**, v. 49, n. 2, p. 155–170, fev. 2014b.

JOKELA, A. *et al.* Mechanisms of Hamstring Injury in Professional Soccer Players: Video Analysis and Magnetic Resonance Imaging Findings. **Clinical Journal of Sport Medicine**, v. 33, n. 3, p. 217–224, 1 maio 2023.

KANG, S. *et al.* Historical overview of the interleukin-6 family cytokine. **Journal of Experimental Medicine**, v. 217, n. 5, 4 maio 2020.

KAWAMOTO, R. *et al.* Kinetic comparison of a side-foot soccer kick between experienced and inexperienced players. **Sports Biomechanics**, v. 6, n. 2, p. 187–198, 2007.

KIRKENDALL, D. T.; SAYERS, A. L. **Soccer Anatomy**. 2. ed. Champaign: Human Kinetics, 2020. v. 1

KISHIGAMI, K. *et al.* Relationship between thigh muscle crosssectional areas and single leg stand-up test in Japanese older women. **PLoS ONE**, v. 17, n. 6, p. 1–12, 1 jun. 2022.

KRUSTRUP, P. *et al.* Muscle and blood metabolites during a soccer game: Implications for sprint performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 38, n. 6, p. 1165–1174, jun. 2006.

LEES, A.; NOLAN, L. The biomechanics of soccer: A review. **Journal of Sports Sciences**, v. 16, n. 3, p. 211–234, abr. 1998.

LEMPAINEN, L. *et al.* Clinical principles in the management of hamstring injuries. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 23, n. 8, p. 2449–2456, 27 ago. 2015.

LINKLATER, J. M. *et al.* Hamstring injuries: Anatomy, imaging, and intervention. **Seminars in Musculoskeletal Radiology**, v. 14, n. 2, p. 131–161, 2010.

LÓPEZ-VALENCIANO, A. *et al.* Epidemiology of injuries in professional football: A systematic review and meta-analysis. **British Journal of Sports Medicine**, v. 54, n. 12, p. 711–718, 1 jun. 2020.

MARGATO, G. F. *et al.* Prospective Study of Muscle Injuries in Three Consecutive Seasons of the Brazilian Football Championship. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 55, n. 6, p. 687–694, 1 dez. 2020.

MARINS, J. C. B. *et al.* Circadian and gender differences in skin temperature in militaries by thermography. **Infrared Physics and Technology**, v. 71, p. 322–328, 10 jun. 2015.

MCALLISTER, M. J. *et al.* MUSCLE ACTIVATION DURING VARIOUS HAMSTRING EXERCISES. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 28, n. 6, p. 1573–1580, jun. 2014.

MCARDLE, William D. *et al.* **Fisiologia do Exercício: nutrição, energia e desempenho humano**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan Ltda, 2016. 1482 p.

MENDIGUCHIA, J. *et al.* Effects of hamstring-emphasized neuromuscular training on strength and sprinting mechanics in football players. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 25, n. 6, p. e621–e629, 1 dez. 2015.

MENEZES, P. *et al.* Effects of strength training program and infrared thermography in soccer athletes injuries. **Sports**, v. 6, n. 4, 1 dez. 2018.

MOAHMMAD AHSAN. An Angular Kinematical Analysis of Soccer Instep and Inside Kick at Impact Phase of University Soccer Players. **International Journal of Sports**

and **Physical Education**, v. 4, n. 3, 2018.

NARA, H.; WATANABE, R. Anti-inflammatory effect of muscle-derived interleukin-6 and its involvement in lipid metabolism. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 18, p. 1–15, 1 set. 2021.

NAVANDAR, A. **ARCHIT_NAVANDAR**. TESIS—MADRID: FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE, 2016.

NETTO, D. C. *et al.* Prospective Evaluation of Injuries occurred during the Brazilian Football Championship in 2016. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 54, n. 3, p. 329–334, 1 maio 2019.

NUNOME, H. *et al.* Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 34, n. 12, p. 2028–2036, jul. 2002.

OLIVA-LOZANO, J. M. *et al.* Acceleration and sprint profiles of professional male football players in relation to playing position. **PLoS ONE**, v. 15, n. 8 August, 1 ago. 2020.

OPAR, D. A.; WILLIAMS, M. D.; SHIELD, A. J. Hamstring Strain Injuries Factors that Lead to Injury and Re-Injury. **Sports Medicine**, p. 209–226, 2012.

PAULSEN, G. *et al.* Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? **Exercise Immunology Review**, p. 42–97, 2012.

PEAKE, J. M. *et al.* Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 122, n. 3, p. 559–570, 1 mar. 2017a.

PEAKE, J. M. *et al.* Recovery of the immune system after exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 122, p. 1077–1087, 1 dez. 2017b.

PEDERSEN, B. K.; STEENSBERG, A.; SCHJERLING, P. Muscle-derived interleukin-6: Possible biological effects. **Journal of Physiology**, v. 536, n. 2, p. 329–337, 15 out. 2001.

PIMENTA, E. M. *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, abr. 2012.

POWERS, Scott K.; HOWLEY, Edward T.. **Fisiologia do Exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho**. 5. ed. Barueri: Manole, 2005. 596 p. Dr.Marcos Ikeda.

QUESADA, J. I. P. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering Application of Infrared Thermography in Sports Science. Em: **Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering**. 1. ed. Valência: [s.n.]. v. 1p. 1–339.

RABELLO, R. *et al.* Lower limbs muscle activation during instep kick in soccer:

effects of dominance and ball condition. **Science and Medicine in Football**, v. 6, n. 1, p. 40–48, 2022.

REYNOLDS, J. *et al.* Quantifying and Comparing the Match Demands of U18, U23, and 1ST Team English Professional Soccer Players. **Frontiers in Physiology**, v. 12, 2 jul. 2021.

RING E. Progress in the measurement of human body temperature. **IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY**, 1998.

RING, E. The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine. **Journal of Medical Engineering and Technology**, v. 30, n. 4, p. 192–198, 1 jul. 2006.

RING, E. F. J. The historical development of temperature measurement in medicine. **Infrared Physics and Technology**, v. 49, n. 3 SPEC. ISS., p. 297–301, 2007.

SCHACHE, A. G. *et al.* Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, n. 4, p. 647–658, abr. 2012.

SCHUERMANS, J. *et al.* Biceps femoris and semitendinosus - Teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: A muscle functional MRI study. **British Journal of Sports Medicine**, v. 48, n. 22, p. 1599–1606, 1 dez. 2014.

SHADRACH, J. L.; WAGERS, A. J. Stem cells for skeletal muscle repair. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 366, n. 1575, p. 2297–2306, 4 jul. 2011.

SHAMJI, R. *et al.* Association of the British Athletic Muscle Injury Classification and anatomic location with return to full training and reinjury following hamstring injury in elite football. **BMJ Open Sport and Exercise Medicine**, v. 7, n. 2, 10 maio 2021.

SIMMONS, G. H. *et al.* Changes in the control of skin blood flow with exercise training: Where do cutaneous vascular adaptations fit in? **Experimental Physiology**, v. 96, n. 9, p. 822–828, 2011.

SLAVOTINEK, J. P.; VERRALL, G. M.; FON, G. T. Sportsmed SA (Sports Medicine Clinic), 32 Payneham Rd. **Perrett Medical Imaging**, v. 5006, n. 2, p. 1621–1628, 2002.

SOLE, G. *et al.* Altered muscle activation following hamstring injuries. **British Journal of Sports Medicine**, v. 46, n. 2, p. 118–123, 2012.

TIMMINS, R. G. *et al.* Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. **British Journal of Sports Medicine**, v. 0, n. 1, p. 1–12, 2015.

TUBBS, R. S. *et al.* Descriptive anatomy of the insertion of the biceps femoris muscle. **Clinical Anatomy**, v. 19, n. 6, p. 517–521, 2006.

VAN BEIJSTERVELDT, A. M. C. *et al.* Risk Factors for Hamstring Injuries in Male Soccer Players: A Systematic Review of Prospective Studies. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 23, n. 3, p. 253–262, jun. 2013.

VAN DEN TILLAAR, R. *et al.* COMPARISON OF HAMSTRING MUSCLE ACTIVATION DURING HIGH-SPEED RUNNING AND VARIOUS HAMSTRING STRENGTHENING EXERCISES. **The International Journal of Sports Physical Therapy**], v. 12, n. 5, 2017.

VAN DER MADE, A. D. *et al.* The hamstring muscle complex. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 23, n. 7, p. 2115–2122, 19 jul. 2015a.

VAN DER MADE, A. D. *et al.* The hamstring muscle complex. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 23, n. 7, p. 2115–2122, 19 jul. 2015b.

VENEROSO, Christiano Eduardo; PIMENTA, Eduardo Mendonça. **Termografia aplicada ao exercício físico: teoria e prática**. Curitiba: Crv, 2023. 266 p. (2023 - 27072). Disponível em: <https://www.editoracrv.com.br/livrosdigitais/pdf/viewer.html>. Acesso em: 02 mar. 2023.

XU, F. *et al.* Exercise-Induced Muscle Damage and Protein Intake: A Bibliometric and Visual Analysis. **Nutrients**, v. 14, n. 20, 1 out. 2022.

YANG, W.; HU, P. Skeletal muscle regeneration is modulated by inflammation. **Journal of Orthopaedic Translation**, v. 13, p. 25–32, 1 abr. 2018.

ZORZO, E. *et al.* **Thermal Image Registration: Challenges for Computer-aided Detection and Diagnosis**. [s.l: s.n.].

8. APÊNDICE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: A aplicação da termografia infravermelha, pós-jogo, para detecção de sinais cardinais inflamatórios primários em isquiotibiais de jogadores de futebol profissional.

Convidamos você para ser voluntário do projeto de pesquisa intitulado “A aplicação da termografia infravermelha, pós-jogo, para detecção de sinais cardinais inflamatórios primários em isquiotibiais de jogadores de futebol profissional.”, cujo objetivo é tentar identificar se alguma das porções dos isquiotibiais (proximal ou distal) apresentará sinais cardinais inflamatórios primários associados a demanda de cinco jogos consecutivos.

Você participará de partidas oficiais normalmente em seu clube de futebol, seguindo a programação definida pela comissão técnica. 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, tricipital, peitoral, suprailíaca, supraespinhal, abdominal, coxa e panturrilha) serão obtidas utilizando-se um plicômetro graduado em milímetros (Primemed[®]).

O estudo será realizado em período competitivo, totalizando 5 partidas oficiais. Após cada partida, você será direcionado ao Departamento de Fisiologia para a coleta das imagens termográficas. Todas as aquisições dos termogramas respeitarão um intervalo entre 24-48 horas pós-jogo, variando de acordo com a programação semanal estabelecida pela comissão técnica em virtude do calendário competitivo. A aquisição dos termogramas será realizada em sala específica, com temperatura ambiente entre 20-22°C e umidade relativa do ar entre 50-65%. Sua vestimenta para a captura de imagem será sunga. Você permanecerá de 5-10

minutos dentro da sala de coleta para a troca de gradiente de temperatura entre o corpo e o ambiente.

Rubrica do pesquisador: _____

Rubrica do participante: _____

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 serão utilizados para fins de pesquisa e ensino e ficarão armazenados no banco de dados do UFMG Soccer Science Center.

Os riscos deste estudo são relativamente pequenos e estão associados com dores musculares, cansaço e possível desconforto devido à atividade física.

Outro risco possível é o de constrangimento. Para minimizá-lo, as coletas das imagens termográficas serão realizadas sempre individualmente, pela equipe de fisiologia do clube, em uma sala separada e a confidencialidade dos dados será sempre mantida. Por outro lado, sua participação nesta pesquisa proporcionará benefícios como produção e disseminação de conhecimento através de artigos científicos que serão gerados, ajudando no processo de trabalho de treinadores esportivos.

Não está prevista qualquer forma de remuneração para os voluntários. Todas as despesas especificamente relacionadas ao estudo são de responsabilidade do pesquisador.

Você dispõe de total liberdade para esclarecer as questões que possam surgir durante a pesquisa. Qualquer dúvida geral, por favor, entre em contato com os pesquisadores responsáveis pelo estudo: Dr. Eduardo Mendonça Pimenta, tel. (31) 99156-3142 e ou Lenon Rodrigues Vittola (51) 982022818. Para dúvidas éticas, entre em conatato 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 informado.

Rubrica do pesquisador: _____

Rubrica do participante: _____

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 danos provenientes da pesquisa você poderá buscar indenização nos termos da Res.466/12.

CONSENTIMENTO

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito de todos os dados que li e concordo, voluntariamente, em participar do estudo: “A aplicação da termografia infravermelha, pós-jogo, para detecção de sinais cardinais inflamatórios primários em isquiotibiais de jogadores de futebol profissional.”

Belo Horizonte _____ de _____ de 2023

Assinatura do voluntário: _____

Nome: _____

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

Lenon Rodrigues Vittola

Mestrando em Ciências do Esporte – EEFFTO/ UFMG

Dr. Eduardo Mendonça Pimenta Orientador e Professor da EEEFTO/ 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 – 2º andar/Sala
2005

Campus Pampulha – Belo Horizonte, MG - CEP: 31270.901

Email: coep@prpq.ufmg.br

Telefax: (31) 3409-4592

PARECER DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: A APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA, PÓS-JOGO, PARA DETECÇÃO DE SINAIS CARDINAIS INFLAMATÓRIOS PRIMÁRIOS, EM ISQUIOTIBIAIS, DE JOGADORES DE FUTEBOL PROFISSIONAL

Pesquisador: Eduardo Mendonça Pimenta

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 67632922.1.0000.5149

Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.015.994