

Análise da performance muscular de atletas submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior após programa de reabilitação

Analysis of muscle performance in athletes undergoing anterior cruciate ligament reconstruction after a rehabilitation program

Análisis del rendimiento muscular de atletas sometidos a reconstrucción del ligamento cruzado anterior después de un programa de rehabilitación

Recebido: 26/01/2022 | Revisado: 30/01/2022 | Aceito: 06/02/2022 | Publicado: 09/03/2022

Daniel Vilela Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7365-1275>
Universidade do Vale do Paraíba, Brasil
E-mail: dano@univap.br

Sergio Luiz Lemos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3543-8611>
Universidade do Vale do Paraíba, Brasil
E-mail: lemossil@uol.com.br

Fernando Azevedo Carvalho Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1456-5283>
Universidade do Vale do Paraíba, Brasil
E-mail: fernandoacneto15@gmail.com

Fernanda Pupio Silva Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9834-7800>
Universidade do Vale do Paraíba, Brasil
E-mail: fpupio@univap.br

Mário Oliveira Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9990-5296>
Universidade do Vale do Paraíba, Brasil
E-mail: mol@univap.br

Resumo

As lesões ligamentares de joelho vêm sendo amplamente discutidas nos últimos anos, impulsionado pelo elevado número de casos na prática esportiva. O objetivo desse estudo foi comparar o desempenho muscular de atletas que participaram de um programa de reabilitação após reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA), por meio de um software desenvolvido para avaliar parâmetros como pico de torque, trabalho total e potência muscular. Foram avaliados 59 atletas amadores, submetidos a reconstrução do LCA com enxerto do grupo muscular flexor, com 6 meses de reabilitação iniciada imediatamente a cirurgia. A avaliação foi constituída por 5 contrações isocinéticas concêntricas com velocidade constante de 60°/s para flexão e extensão do joelho realizadas no dinamômetro isocinético. Os dados obtidos foram analisados por meio do software Análise da Performance Muscular na Dinamometria Isocinética®, desenvolvido para a realização desse estudo. Os resultados obtidos permitiram observar uma diferença de mais de 10% entre os lados para o pico torque, trabalho total e potência máxima ($p < 0,05$) sendo que o grupo muscular extensor apresentou valores menores para o lado operado. O grupo muscular flexor não apresentou diferença significativa das mesmas variáveis. O software desenvolvido em linguagem C /Matlab permitiu melhor visualização, interpretação e análise da performance muscular, oferecendo resultados consistentes para todos os atletas avaliados. Os resultados indicam que os 6 meses de reabilitação não foram suficientes para promover simetria de força entre os lados para o grupo muscular extensor do joelho, indicando um risco de retorno ao esporte nesta fase do tratamento.

Palavras-chave: Ligamento cruzado anterior; Reabilitação; Volta ao esporte.

Abstract

Knee ligament injuries have been widely discussed in recent years, driven by the high number of cases in sports practice. The aim of this study was to compare the muscle performance of athletes who participated in a rehabilitation program after reconstruction of the anterior cruciate ligament (ACL), using a software developed to assess parameters such as peak torque, total work and muscle power. Fifty-nine amateur athletes who underwent ACL reconstruction with a graft from the flexor muscle group, with 6 months of rehabilitation started immediately after surgery, were evaluated. The evaluation consisted of 5 concentric isokinetic contractions with a constant velocity of 60°/s for knee flexion and extension performed using an isokinetic dynamometer. The data obtained were analyzed using the Muscle Performance Analysis in Isokinetic Dynamometry® software, developed for this study. The results obtained allowed

us to observe a difference of more than 10% between the sides for peak torque, total work and maximum power ($p < 0.05$), with the extensor muscle group showing lower values for the operated side. The flexor muscle group did not present a significant difference in the same variables. The software developed in C / Matlab language allowed better visualization, interpretation and analysis of muscle performance, offering consistent results for all evaluated athletes. The results indicate that the 6 months of rehabilitation were not enough to promote symmetry of strength between the sides for the knee extensor muscle group, indicating a risk of returning to sport at this stage of treatment.

Keywords: Anterior cruciate ligament; Rehabilitation; Return to sport.

Resumen

Las lesiones del ligamento de la rodilla han sido ampliamente discutidas en los últimos años, impulsadas por el elevado número de casos en la práctica deportiva. El objetivo de este estudio fue comparar el rendimiento muscular de los deportistas que participaron en un programa de rehabilitación después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA), utilizando un software desarrollado para evaluar parámetros como el torque pico, el trabajo total y la potencia muscular. Un total de 59 deportistas amateurs se sometieron a la reconstrucción del LCA con un injerto del grupo de músculos flexores, tras 6 meses de rehabilitación, que se inició inmediatamente después de la cirugía. La evaluación consistió en 5 contracciones isocinéticas concéntricas con velocidad constante de $60^\circ / s$ para flexión y extensión de rodilla realizadas mediante dinamómetro isocinético. Los datos obtenidos se analizaron mediante el software Muscle Performance Analysis in Isokinetic Dynamometry®, desarrollado para este estudio. Los resultados obtenidos permitieron observar una diferencia de más del 10% entre los lados para torque pico, trabajo total y potencia máxima ($p < 0.05$), mostrando el grupo de músculos extensores valores más bajos para el lado operado. El grupo de músculos flexores no presentó diferencia significativa en las mismas variables. El software desarrollado en lenguaje C / Matlab permitió una mejor visualización, interpretación y análisis del rendimiento muscular, ofreciendo resultados consistentes para todos los deportistas evaluados. Los resultados indican que los 6 meses de rehabilitación no fueron suficientes para promover la simetría de fuerza entre los lados para el grupo de músculos extensores de la rodilla, lo que indica un riesgo de volver al deporte en esta etapa del tratamiento.

Palabras clave: Ligamento cruzado anterior; Rehabilitación; Volver al deporte.

1. Introdução

A estrutura ligamentar do joelho com maior incidência de lesão é a do Ligamento Cruzado Anterior (LCA), que acomete, em sua grande maioria, atletas de desportos de contato e que exijam grande velocidade com quebras expressivas de direção resultando em movimentos rotacionais do joelho (Astur et al. 2016; Johnson et al. 2016). Nos Estados Unidos, pode afetar cerca de 60 a 70 pessoas a cada 100000 habitantes (Rambaud et al. 2016). Na maioria das vezes, em casos de ruptura completa, é necessária intervenção cirúrgica para a reconstrução do LCA. Consequentemente, o gasto em saúde é elevado para conduzir a reabilitação desses pacientes até o retorno as atividades de vida diária e a prática esportiva (Parkkari et al. 2008). Desta forma, é de grande interesse a realização de estudos que possam esclarecer critérios mais seguros para o retorno as atividades de maneira mais segura quanto possível. Quando a capacidade física e funcional do indivíduo não é respeitada, há um maior risco de lesões recidivas. Pelo estudo de Gali et al. (2005), as causas de uma lesão recidiva dependem de alguns fatores, bem como o tempo de sua ocorrência. Lesões recorrente (de seis a nove meses de pós-operatório) geralmente resultam de técnica cirúrgica pobre, falha de incorporação do enxerto ou possível reabilitação agressiva, enquanto falhas ocorrendo mais tarde (mais de um ano depois da cirurgia) geralmente são decorrentes de novo trauma. O teste de performance muscular com maior confiabilidade e reprodutibilidade se dá por meio da dinamometria isocinética (Meredith et al. 2020; Kyritsis et al. 2016). Foi observado que maior força do quadríceps e baixo derrame articular foram associados a um bom retorno ao esporte. Além disso, a cada 1% de simetria do quadríceps diminui-se 3% de uma nova lesão no joelho (Meredith et al. 2020). Embora diversos estudos tenham utilizado a performance muscular avaliadas por meio de dinamometria isocinética um dos critérios para o retorno ao esporte, estes não citam na metodologia a análise dos dados obtidos pelo equipamento. Sendo assim, esses estudos, provavelmente, utilizaram os dados isolados de pico de torque, trabalho total e potência oferecidos por meio do software do próprio isocinético. No entanto, este software não permite a visualização, interpretação e análise minuciosa de cada contração. A tabela de resultados oferecidas pelo próprio equipamento, permite somente análise individual intra e inter-indivíduos não permitindo uma análise comparativa de um grande grupo de indivíduos. Sendo assim, o objetivo do estudo foi

comparar o desempenho muscular de atletas amadores, submetidos a reconstrução do ligamento cruzado anterior, após 6 meses de reabilitação, por meio de um software desenvolvido para avaliar o pico de torque, trabalho total e potência média no dinamômetro isocinético. Espera-se que os dados obtidos possam contribuir para o processo de reabilitação dos pacientes, minimizando índices de lesões recidivas, dor residual e ou danos estruturais permanentes. Além disso, o estudo poderá oferecer uma ferramenta consistente que permitirá um melhor entendimento dos dados quantitativos obtidos por meio da dinamometria isocinética, gerando maior facilidade no reconhecimento de fenômenos relevantes e comparação da performance muscular de uma forma simples e prática.

2. Metodologia

Amostra intencional, não probabilística ou de conveniência segundo Koche (2011) a partir da avaliação de 111 participantes de ambos os gêneros com altura média de $1,70m \pm 0,1$ e peso médio de $70,9Kg \pm 3$. O número reflete os exames realizados no laboratório de biodinâmica alocado na Universidade do Vale do Paraíba. Foi realizado um levantamento de dados obtidos em prontuários de pacientes com 6 meses de reabilitação no pós-operatório para reconstrução do LCA avaliados entre o ano de 2016 e 2020. Todos os pacientes passaram pelo mesmo procedimento cirúrgico (artroscopia para reconstrução do LCA com enxerto autógeno retirado do tendão dos flexores do joelho). Todos os voluntários iniciaram o tratamento fisioterapêutico no pós operatório imediato em clínicas especializadas em fisioterapia ortopédica que perduraram até a data do teste com 6 meses de reabilitação. Dos pacientes avaliados, somente 59 responderam o questionário autorizando o uso do prontuário para fins de pesquisa. O restante não respondeu ao questionário, sendo, portanto, excluídos da amostra. Foram incluídos no estudo, os participantes atletas amadores (sem restrição de modalidade esportiva) de ambos os gêneros e estavam em uma faixa etária entre 18 e 45 anos, tendo passado por processo cirúrgico para reconstrução do ligamento cruzado anterior sem outras lesões associadas no joelho. O período de pós cirúrgico foi de 6 meses e todos os participantes foram encaminhados com diagnóstico médico de pós-operatório para reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto extraído grupo muscular flexor do joelho. Foram excluídos os pacientes que tiveram lesões associadas nos membros inferiores em um período mínimo de 12 meses, pacientes portadores de prótese do joelho ou amputados e indivíduos que estavam realizando algum tipo de tratamento de patologias neurológicas e cardiopulmonares. Foram excluídos ainda, os pacientes que passaram por coletas em anos anteriores (à partir de 2016) que por qualquer motivo não responderem ao formulário (google forms) de consentimento para a utilização dos dados do dinamômetro isocinético (força, potência e resistência muscular) ou não autorizaram o acesso a esses dados.

O protocolo de pesquisa foi submetido à análise do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) através da Plataforma Brasil e teve o parecer substanciado aprovado sob o número 4.396.269. Todos os voluntários foram avaliados utilizando o mesmo protocolo. Passaram por um aquecimento prévio com marcha a $6,6KM/h$ utilizando uma esteira rolante da marca Gaytway. Após aquecimentos os indivíduos foram posicionados sentados no dinamômetro isocinético da marca Biodex System 3 e seus acessórios para avaliação da articulação do joelho. Foram realizadas 5 contrações isocinéticas concêntricas com velocidade constante de $60^\circ/s$ para flexão e extensão. Os dados obtidos foram analisados por meio do software Análise da Performance Muscular na Dinamometria Isocinética[®], com o objetivo de comparar a performance entre o lado operado e o não operado.

A série temporal dos dados obtidos por meio das coletas no dinamômetro isocinético, dos 59 pacientes em PO para reconstrução do LCA, no 6 (sexto) mês, foram exportados em arquivos .txt. O processamento dos dados, inicialmente se deu por meio da filtragem do sinal bruto. Foi utilizado um filtro de fase 0 Fir Filter (não há defasagem no tempo) passa baixa com “designMethod=eqripple”. Foram então obtidos os 5 picos de torque para a velocidade de $60^\circ/s$, para as 5 tentativas em movimentos de flexão e extensão do joelho bilateralmente. Para o cálculo da potência máxima e trabalho total foi necessária a precisão de uma casa decimal do dinamômetro isocinético (que usualmente utiliza um arredondamento do ângulo sem casa

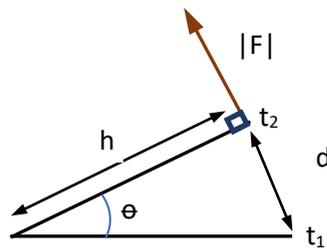
decimal), uma vez que a $60^\circ/s$, teríamos uma variação de 0,6 graus a cada 10 milissegundos (considerando a frequência de coleta do equipamento de 100Hz). Esse cálculo se fez necessário para garantir o deslocamento mais preciso na obtenção dos resultados.

A potência máxima foi calculada por meio da área da curva do torque em relação ao deslocamento (trabalho), dividido pelo tempo até atingir o pico de torque, na máxima repetição (dentro das 5 repetições a $60^\circ/s$).

O trabalho total foi calculado pela somatória das áreas embaixo da curva obtida do torque em relação ao deslocamento angular para as velocidades de $60^\circ/s$.

As fórmulas utilizadas são baseadas nas teorias fundamentais da física mecânica onde, considerando o sistema de alavanca conforme ilustrada na Figura 1, são deduzidas as variáveis e as equações:

Figura 1 – Sistema de alavanca onde podem ser deduzidas as variáveis e as equações baseadas nas teorias.



Fonte: Autores.

E também:

$T = |\text{Torque}| \text{ (N.m)}$;
 $F = |\text{Força}| \text{ (N)}$;
 $\tau = \text{Trabalho (J)}$;
 $h = \text{distância do centro de rotação ao ponto de carga (m)}$;
 $d = \text{deslocamento (m)}$;
 $\theta = \text{ângulo percorrido entre dois instantes de amostragem}$;
 $t_1 = \text{instante de amostragem 1 (s)}$;
 $t_2 = \text{instante de amostragem 2 (s)}$.

Temos:

$$T = F \cdot h \cdot \text{sen } 90 \quad (1)$$

$$\tau = F \cdot d \cdot \text{cos } 0 \quad (2)$$

$$d = \text{sen } \theta \cdot h \quad (3) \text{ (} h \gg d \text{)}$$

Então:

$$\tau = T/h \cdot \text{sen } \theta \cdot h$$
$$\tau = T \cdot \text{sen } \theta \quad (4)$$

A equação da potência máxima foi definida como o trabalho do movimento que atingiu o maior torque da série, dividido pelo tempo que durou este movimento.

Equação da Potência máxima P_{\max} (W):

$$P_{\max} = \sum_{t=ti}^{t=T_{\max}} (((T_t + T_{t+1})/2) \cdot \text{sen } (\theta_{t+1} - \theta_t)) / (t_{T_{\max}} - t_i) \quad (5)$$

onde: t = instante de cada amostragem;
 t_i = instante inicial do movimento que atinge o torque máximo;
 t_{Tmax} = instante em que o torque máximo foi atingido.

A equação do trabalho total é a soma do trabalho realizado durante toda a série de movimento.

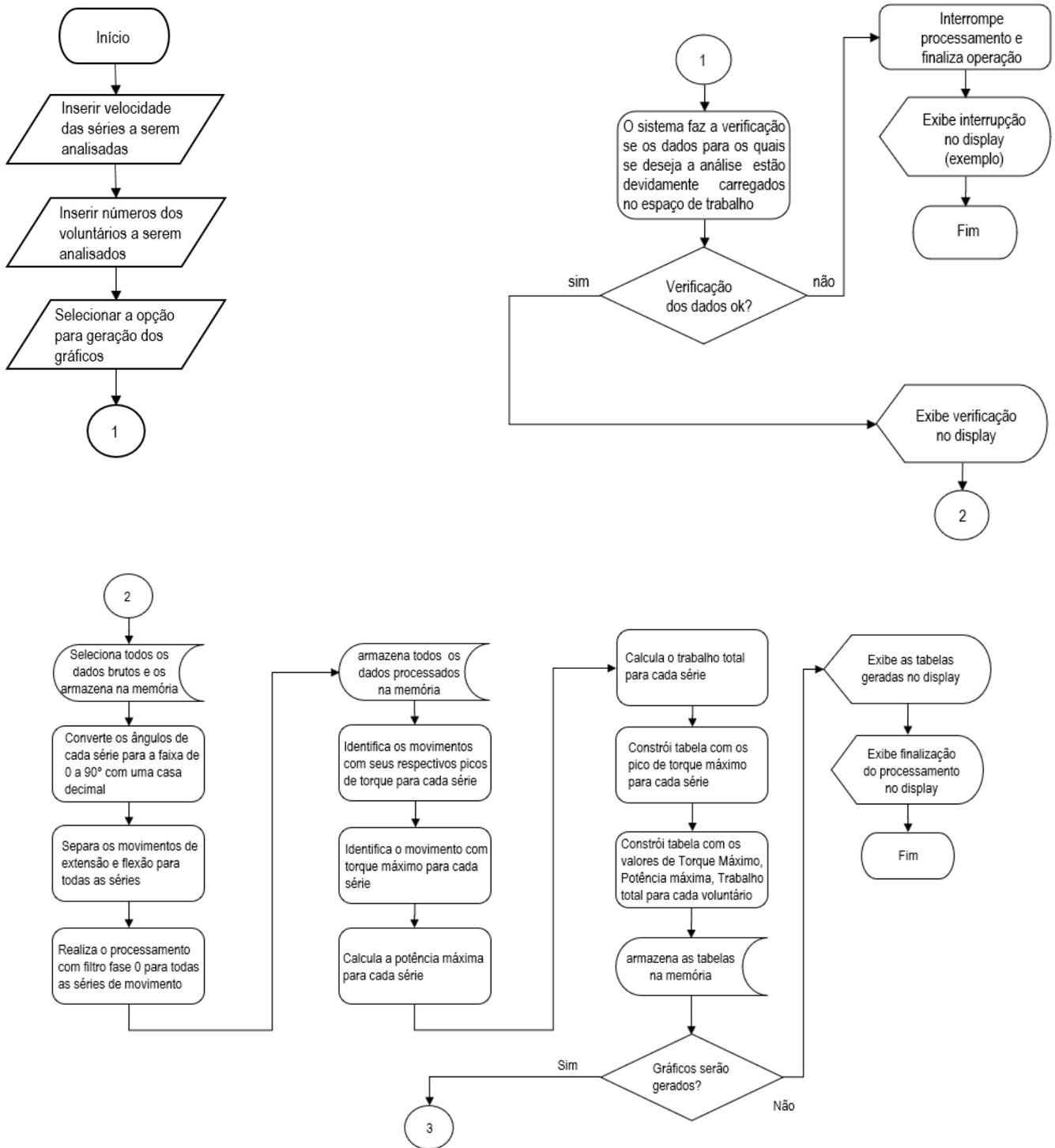
Equação do trabalho total τ_T (J):

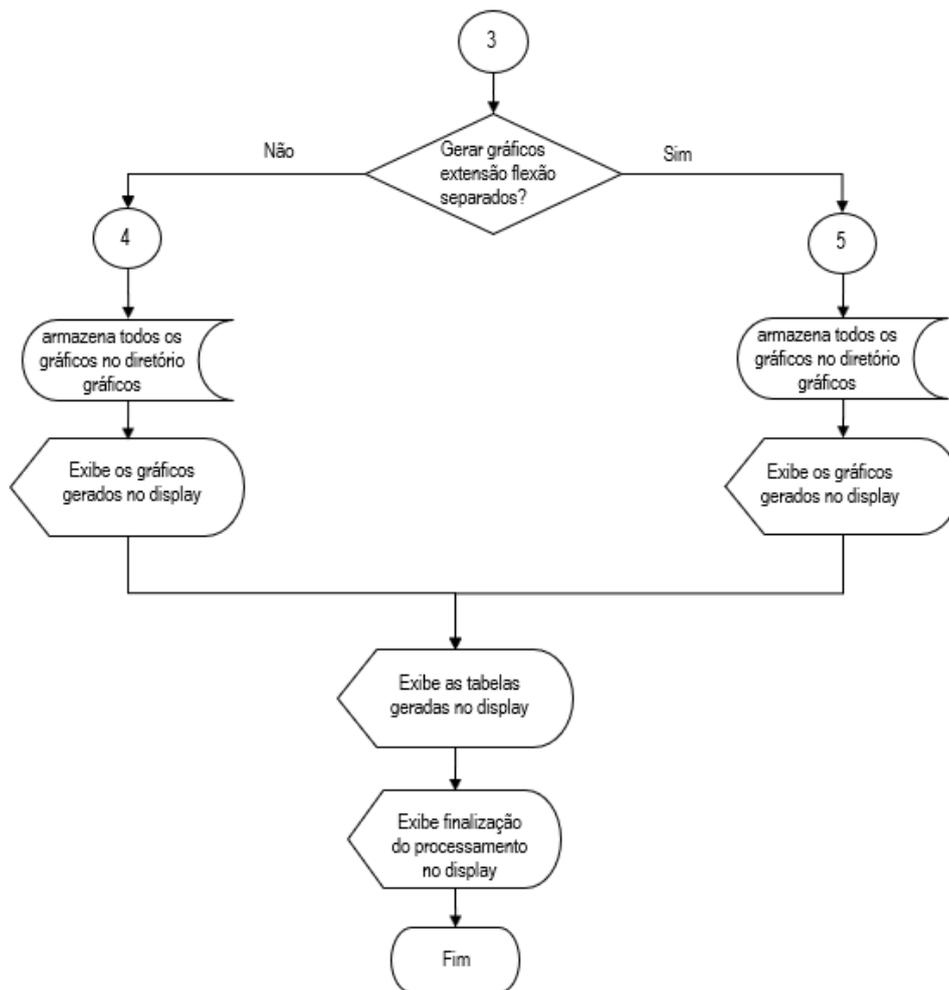
$$\tau_T = \sum_{t=0}^n ((T_t + T_{t+1})/2) \cdot \text{sen}(\theta_{t+1} - \theta_t) \quad (6)$$

onde: t = instante de cada amostragem;
 n = último instante de amostragem da série.

Abaixo, a Figura 2 ilustra o fluxograma utilizado para análise dos dados por meio do Software Análise da Performance Muscular na Dinamometria Isocinética®.

Figura 2 – Fluxograma de Análise do Sinal por meio do Software Análise da Performance Muscular®





Fonte: Autores.

Os valores de pico de torque, trabalho total e potência máxima obtidos para os movimentos de flexão e extensão do lado lesionado e não lesionado foram comparados. Considerando que uma assimetria de força de até 10% é aceitável entre os lados para atletas, optou-se em reduzir 10% os valores das variáveis analisadas do lado não lesionado e comparar com o lado pós operado e reabilitado.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com a utilização do Software Past 4.03 onde foi verificado a normalidade dos dados pelo teste Shapiro-Wilki e utilizado o teste t-student para amostras relacionadas. Foi adotado um nível de significância de 0,05.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta o perfil da amostra com informações em números e porcentagem dividido pelo gênero, o lado de dominância e o lado que passou pelo processo cirúrgico.

Tabela 1 – Perfil da amostra, dividido por gênero, lateralidade e lado da cirurgia.

	Sexo		Lateralidades		Lado da Cirurgia	
	Masculino	Feminino	Destro	Canhoto	Direito	Esquerdo
Números	46	13	53	6	31	28
Porcentagem	78%	22%	89.8%	10.2%	52.5%	47.5%
Total	59 Voluntários					

Fonte: Autores.

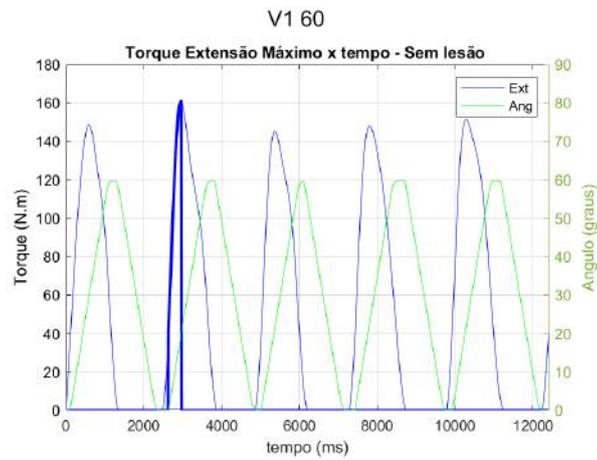
Nota-se na Tabela que, 78% dos voluntários foram do gênero masculino quando comparados com 22% do gênero feminino. Dos pacientes avaliados 89,8% eram destros sendo que 52,5% realizou a cirurgia do lado direito. Esses dados não corroboram o estudo de Grindem et al (2016). Os autores encontraram 52% da amostra do gênero feminino. No entanto os autores utilizaram para o estudo atletas profissionais e uma amostragem intencional. Sabe-se que no futebol, as mulheres correm duas vezes mais riscos de lesões do LCA (Brito, 2009) e isso pode ser explicado principalmente por sua anatomia (pelve mais alargada) e aumento do ângulo Q, lassidão ligamentar (instabilidade articular) especialmente no período menstrual com evidente flutuação hormonal e menor controle neuromuscular (Hewett et al. 2004). O número menor de mulheres no presente estudo, pode ser explicado por um número menor de atletas amadoras praticando as mais diversificadas atividades esportivas na região.

É importante relatar que, ainda dentro do perfil amostral, 89,8% eram destros (as) e que o lado da lesão, e por consequência o lado da cirurgia para reconstrução, apresentou números semelhantes entre os lados, evidenciando que a lateralidade provavelmente não influenciou o lado da lesão para os pacientes avaliados. O estudo de Ruedl et al. (2012), observou que, em esquiadoras, o risco de ruptura sem contato era significativamente maior do lado não dominante. O mesmo acontece para o futebol profissional. Acredita-se que o lado não dominante que serve como base de suporte para chute e o menor controle neuromuscular deste lado podem influenciar esses achados (Brito, 2009; Hewett et al., 2004; Ruedl et al. 2012). Estes dados não corroboram os achados deste estudo, onde não foi observada uma evidência de que a lateralidade influencia o lado da lesão. Acredita-se que o fato a população estudada ser de atletas amadores de diversas modalidades foi um fator significativo na não influencia da lateralidade.

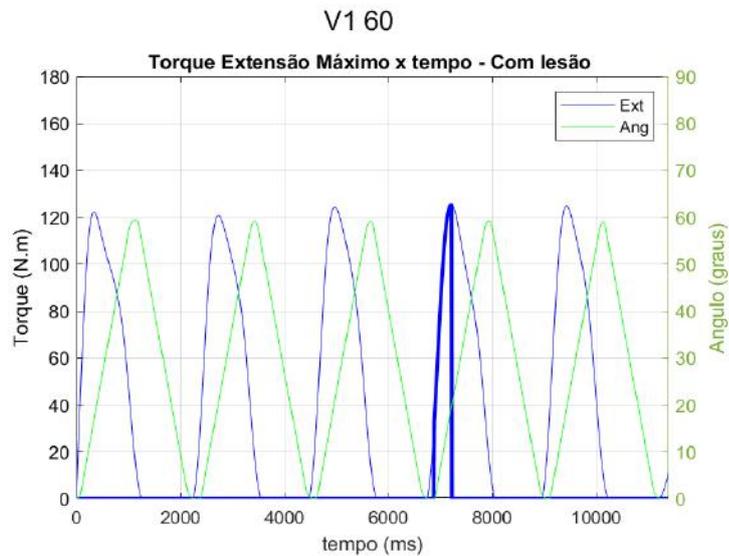
O Gráfico 1, alinhado no tempo ilustra a diferença da performance muscular existente para um voluntário após cirurgia com 6 meses para reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior.

Nota-se que a diferença na performance muscular para extensão foi em média de 18% para este voluntário. Espera-se como índice de normalidade e equilíbrio muscular uma diferença de até 10% para atletas (Dvir & Müller. 2020).

Gráfico 1 – Resultados do torque muscular (Nxm) e o ângulo em graus em relação ao tempo para lado investigado (6 meses de PO para reconstrução do LCA) e o lado não operado.



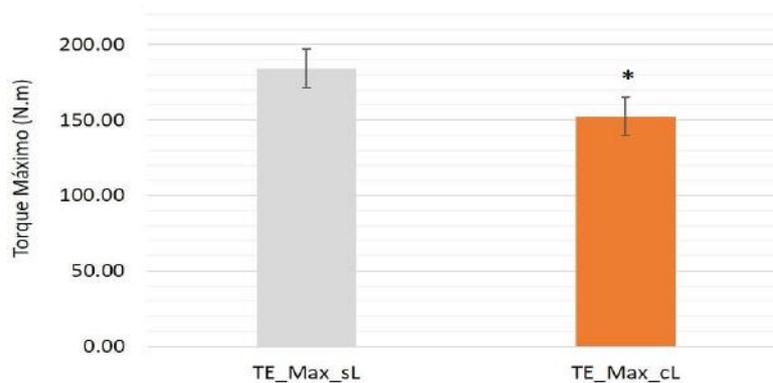
Sem Lesão	Com Lesão	Déficit %
148.76	122.35	17.8
160.99	120.81	25.0
145.35	124.36	14.4
148.01	125.34	15.3
151.34	124.83	17.5



Fonte: Autores.

Os resultados foram consolidados estatisticamente, evidenciando uma diferença do lado que passou pelo processo de reabilitação maior que 10%, conforme ilustrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Resultados da comparação entre o pico de torque extensor no lado lesionado e não lesionado analisado pós processo de reabilitação (considerando diferença de até 10%).

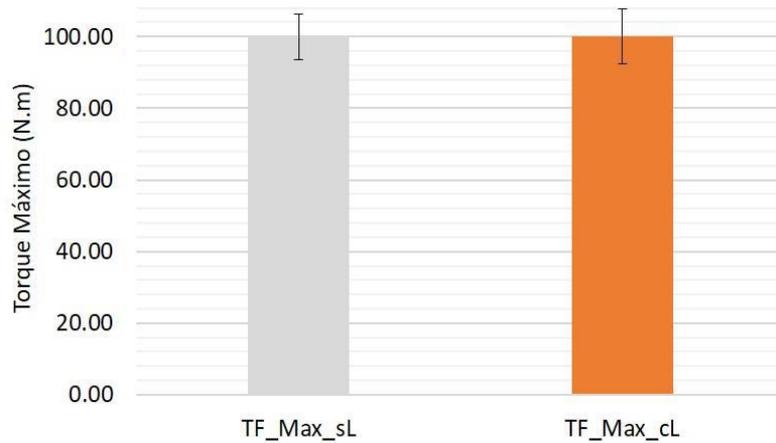


Fonte: Autores.

Este achado poderia constituir um desequilíbrio que não tornaria o atleta apto para o retorno ao esporte de forma segura neste período (Grindem et al. 2016). Por tanto, além do tempo no pós cirúrgico, a simetria entre os membros de até 90%, deveria ser um parâmetro a ser considerado (Wellsandt et al. 2017). Considerar somente o tempo como variável não deve fazer parte da prática clínica devido a variação na estabilidade e cicatrização, sendo estes contextos individuais (Meredith et al. 2020). Pacientes que retornam antes dos 9 meses após a reconstrução do LCA possuem sete vezes mais riscos de sofrerem uma segunda lesão. (Herrington et al. 2021; Beischer et al. 2020). Em contrapartida, aqueles obtiveram simetria do músculo quadríceps e adiaram por no mínimo 9 meses, reduziram em 84% a chance de nova lesão. A cada 1 mês que o retorno ao esporte é adiado a chance de recidiva reduz 51% até o 9º mês. (Grindem et al. 2016). Uma revisão de escopo mostrou que nos anos de 1986 a 1989 o tempo era o único critério para que o atleta retornasse a prática esportiva. A partir de 1990 o tempo representou cerca de 50% do conjunto de critérios para o retorno do atleta ao esporte. Cumprir um prazo de 9 meses, juntamente com aplicação de testes funcionais, avaliar a capacidade de realizar atividades que se aproximem ao máximo das demandas do esporte desejado, bem como, a participação no mesmo e o contexto em que o indivíduo se encontra é de suma importância para que se tenha um retorno com menor risco de recidiva (Buckthorpe, 2019; Burgi et al. 2019; Young et al. 2016).

É importante relatar que os 6 meses de reabilitação foram suficientes para gerar uma simetria de força do grupo muscular flexor conforme ilustrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Resultados da comparação entre o pico de torque flexor sem lesão e lado investigado analisado pós processo de reabilitação (considerando diferença de até 10%).

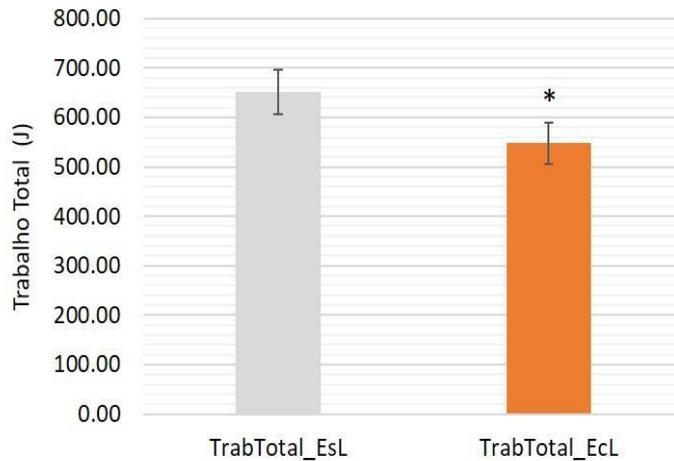


Fonte: Autores.

Acredita-se que o atraso no ganho de força para o quadríceps femoral quando comparada aos isquiotibiais, deve-se a uma importante inibição artrogênica deste grupo muscular, que acontece imediatamente no ato cirúrgico. Este é um fator neurofisiológico que provavelmente atrasa o ganho de força do quadríceps em detrimento do grupo muscular flexor, que é menos inibido (Sonnery-Cottet et al. 2019; Wilk, 2015)

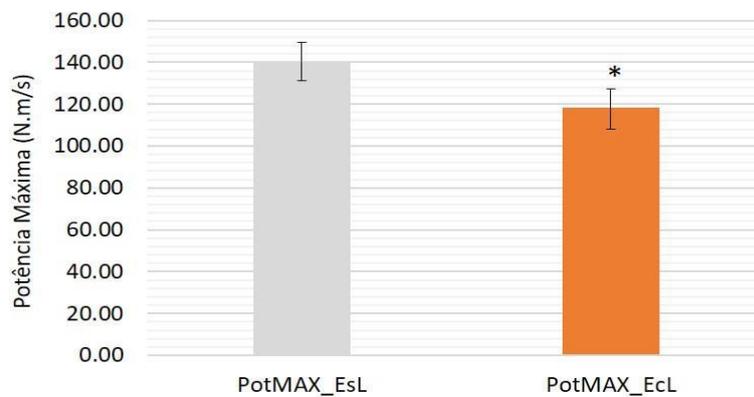
A comparação dos valores obtidos para o trabalho total e potência máxima, seguiram o mesmo padrão da confrontação realizada para o pico torque, ou seja, para o movimento de extensão o lado com 6 meses de P.O. e reabilitação apresentou valores significativamente menores (assimetria maior que 10%) quando comparado com lado contra lateral conforme ilustrado nos Gráficos 4 e 5.

Gráfico 4 – Resultados da comparação entre o trabalho total extensor no lado não lesionado e lado analisado pós processo de reabilitação (considerando diferença de até 10%).



*pValor<0,05 Fonte: Autores.

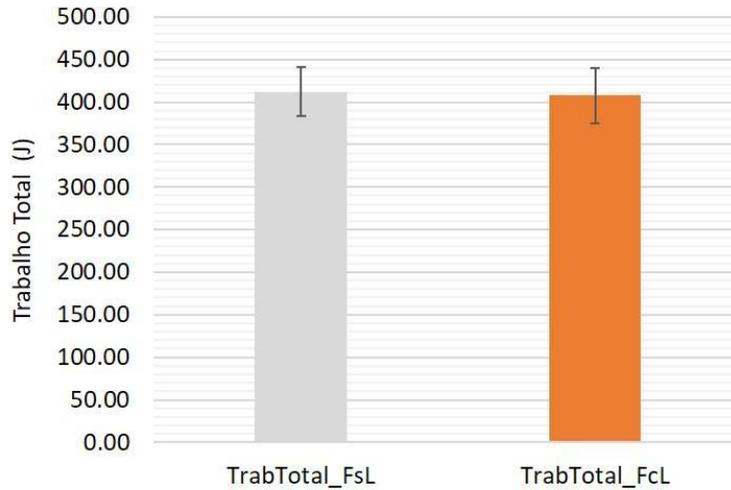
Gráfico 5 – Resultados da comparação entre a potência máxima extensora no lado não lesionado e lado analisado pós processo de reabilitação (considerando diferença de até 10%)



*pValor<0,05 Fonte: Autores.

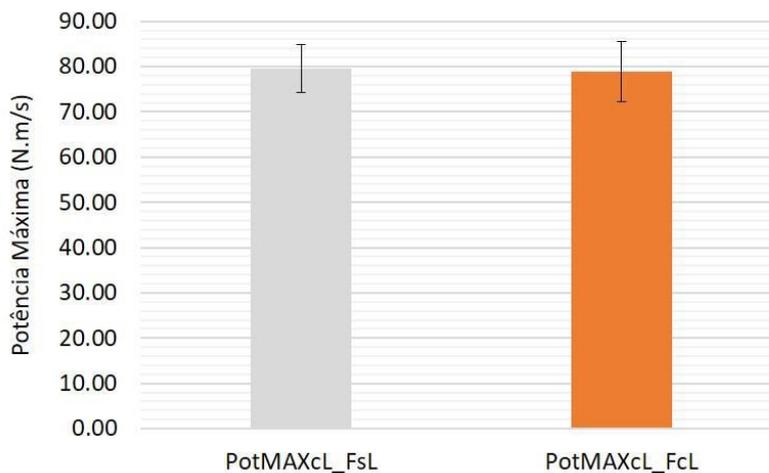
Para o grupo muscular flexor, o trabalho total e a potência máxima flexora a diferença não foi significativa conforme ilustrado nos Gráficos 6 e 7.

Gráfico 6 – Resultados da comparação entre trabalho total flexor no lado não lesionado e lado analisado pós processo de reabilitação (considerando diferença de até 10%).



Fonte: Autores.

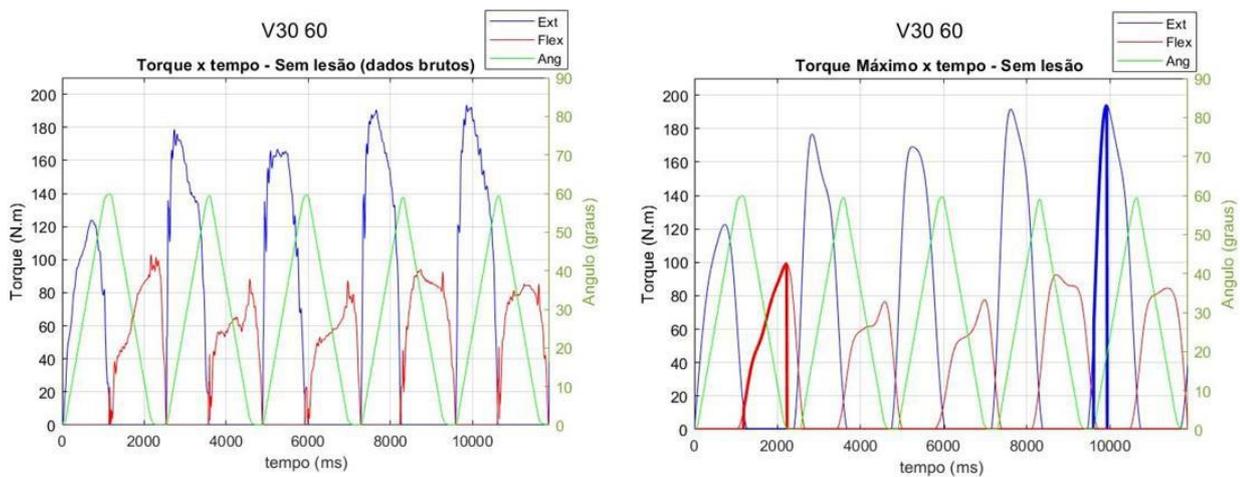
Gráfico 7 – Resultados da comparação entre a potência máxima flexora no lado não lesionado e lado analisado pós processo de reabilitação (considerando diferença de até 10%)



Fonte: Autores.

Os dados clínicos de performance muscular oferecidos pelo dinamômetro isocinético, constitui um teste padrão ouro para avaliação e comparação de força muscular dos grupos musculares flexores e extensores do joelho (Dvir & Müller, 2020), no entanto, possibilitam avaliação individual (podendo ser inter e/ou intraindivíduos). O software desenvolvido tem a capacidade de trabalhar com grande quantidade de dados, com uma filtragem robusta e consistente, possibilitando efetuar os cálculos e os diversos gráficos correspondentes para até 70 voluntários. Podendo-se facilmente expandir a capacidade. O Gráfico 8, ilustra dados brutos e dados filtrados a partir da série temporal de um dos voluntários avaliados, para os movimentos de flexão e extensão do lado não operado.

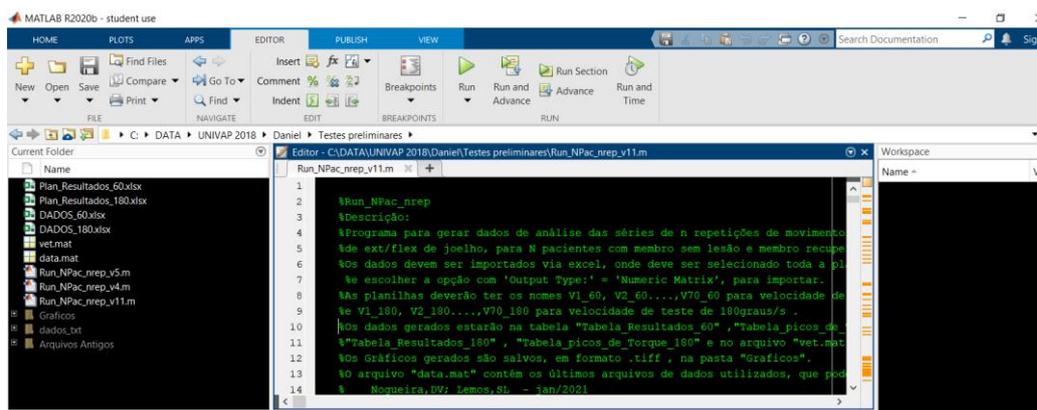
Gráfico 8 – Dados brutos e filtrados, dos movimentos de flexão e extensão do joelho de um dos voluntários avaliados a 60°/s.



Fonte: Autores.

O software Análise da Performance Muscular na Dinamometria Isocinética® com sua tela inicial ilustrada na Figura 3, tem um menu de fácil utilização para escolha de 1 ou mais voluntários para as análises e plotagem dos gráficos. Fornece duas tabelas com as informações dos picos de torque para os movimentos de extensão e flexão, torque máximo (pico de torque), trabalho total e potência máxima para cada série de movimento.

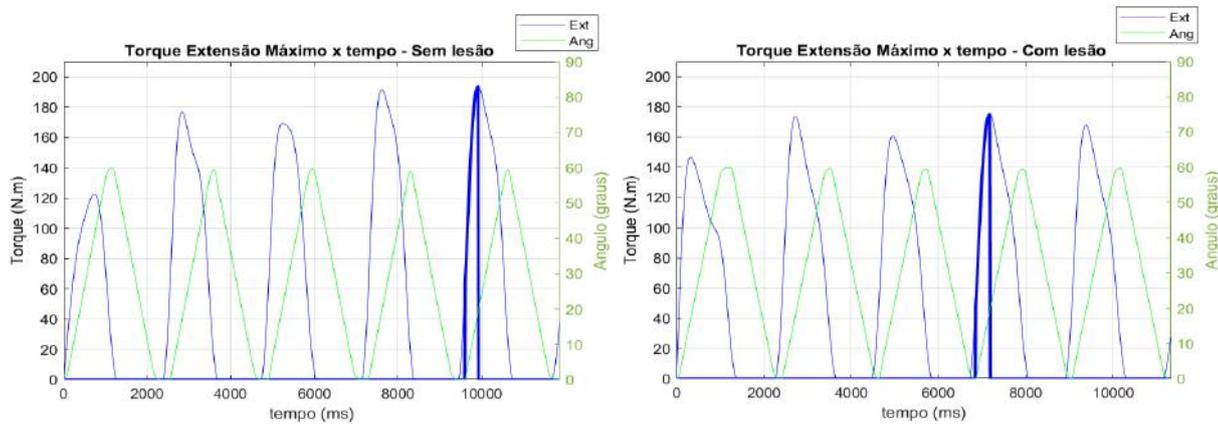
Figura 3 – Tela inicial do Software Análise da Performance Muscular na Dinamometria Isocinética® desenvolvida no programa Matlab.



Fonte: Autores.

A análise e comparação de diversos indivíduos, permitiu uma observação relevante. Alguns indivíduos, considerando idade, local e protocolos específicos, obtiveram simetria de 90% no período de 6 meses após a reabilitação, tanto para o grupo muscular flexor quanto para o grupo muscular extensor, conforme ilustrado no Gráfico 9 e Tabela 2.

Gráfico 9 - Torque muscular extensor do joelho em relação ao tempo para um dos voluntários avaliados após 6 meses de reabilitação do Ligamento Cruzado Anterior.



Fonte: Autores.

Os dados da Tabela 2, ilustram os picos de torque de um dos voluntários avaliados para o movimento de extensão. Nota-se que se fosse avaliado individualmente, o pico de torque apresentaria um déficit de -19,5%. O resultado negativo indica que o lado operado poderia ter atingido valores maiores de pico de torque quando comparado com o lado não lesionado. No entanto esse parece ter sido um valor isolado, já que a comparação dos demais picos, permite concluir que os valores foram similares, com diferenças menores do que 10%.

Tabela 2 - Resultados dos picos de torque para o movimento de Extensão de um dos voluntários avaliados.

Tentativas	Sem Lesão	Com Lesão	Déficit %
1	122.62	146.54	-19.5
2	176.71	173.6	1.8
3	169.15	160.65	5
4	191.52	174.92	8.7
5	183.45	167.79	8.5
Média	170.76	164.7	0.9

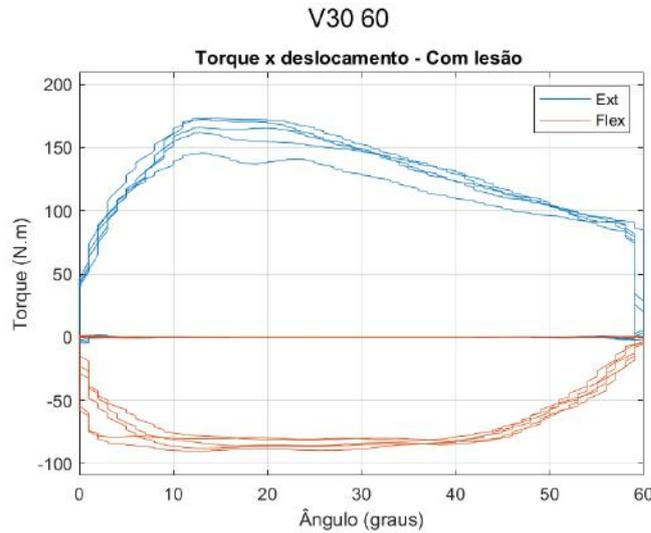
Fonte: Autores.

Este resultado permite inferir alguns aspectos importantes: (i) O pico de torque de forma isolada em um teste isocinético não deve ser parâmetro confiável para ser comparado isoladamente; (ii) O software permitiu a visualização e o retorno dos variados picos de torque nas 5 repetições; (iii) alguns indivíduos com 6 meses de PO para reconstrução do ligamento cruzado anterior podem apresentar simetria maior ou igual a 90% entre os lados dependendo principalmente da idade, capacidade de recuperação pós cirúrgica e protocolo utilizado para reabilitação.

Sendo assim, o software de Análise da Performance Muscular na Dinamometria Isocinética® parece ser uma ferramenta importante, inclusive para comparação individual da performance muscular, já que permite a visualização das

diversas tentativas e como o comportamento da performance muscular se deu ao longo de todas as repetições conforme gráfico 10.

Gráfico 10 -Torque muscular extensor e flexor do joelho nas 5 repetições do lado com a cirurgia.



Nota: Em azul a variação do torque extensor e em vermelho o torque flexor.
Fonte: Autores.

Espera-se que esta ferramenta e os achados no estudo possam auxiliar clínicos e pesquisadores a um entendimento mais apurado das variáveis obtidas nos exames de dinamometria isocinética.

4. Conclusão

Os resultados obtidos permitiram concluir que a reabilitação realizada durante 6 meses após a reconstrução do LCA, não foi suficiente para proporcionar a simetria do pico de torque, trabalho total e potência média entre os grupos musculares extensores do joelho considerando que os músculos flexores não apresentaram diferença significativa para estas variáveis.

O uso do software como ferramenta de análise e comparação mostrou-se eficiente, pois permitiu uma visualização detalhada dos resultados dos testes realizados bem como a interpretação dos dados. Espera-se que a ferramenta de análise utilizada possa auxiliar a visualização, interpretação e comparação dos dados por clínicos e pesquisadores contribuindo para o processo de reabilitação no pós-cirúrgico para reconstrução do LCA.

Os resultados desse estudo poderão oferecer informações para implementação e readequações de programas que visam restabelecer a função e permitir o retorno ao esporte de forma mais segura.

O presente estudo não explorou aspectos relacionados à fadiga muscular em pacientes com 6 meses de reabilitação no pós-cirúrgico para reconstrução do LCA. Desta forma, sugerimos que futuros estudos possam ser realizados a fim de investigar aspectos relacionados a endurance muscular apresentada por estes indivíduos.

Referências

Astur, D. C., Xerez, M., Rozas, J., Debieux, P. V., Franciozi, C. E., & Cohen, M. (2016). Lesões do ligamento cruzado anterior e do menisco no esporte: incidência, tempo de prática até a lesão e limitações causadas pelo trauma☆. *Revista brasileira de ortopedia*, 51, 652-656.

- Beischer, S., Gustavsson, L., Senorski, E. H., Karlsson, J., Thomeé, C., Samuelsson, K., & Thomeé, R. (2020). Young athletes who return to sport before 9 months after anterior cruciate ligament reconstruction have a rate of new injury 7 times that of those who delay return. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 50(2), 83-90.
- Brito, J., Soares, J., & Rebelo, A. N. (2009). Prevenção de lesões do ligamento cruzado anterior em futebolistas. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 15, 62-69.
- Buckthorpe, M. (2019). Optimising the late-stage rehabilitation and return-to-sport training and testing process after ACL reconstruction. *Sports Medicine*, 49(7), 1043-1058.
- Burgi, C. R., Peters, S., Ardern, C. L., Magill, J. R., Gomez, C. D., Sylvain, J., & Reiman, M. P. (2019). Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review. *British journal of sports medicine*, 53(18), 1154-1161.
- Silva, A. A., Moura, S. K., Serrano, J. L., da Silva, K. V., & Lopes, D. T. (2019). A percepção de atletas amadores de futebol da cidade de Gurinhém-PB sobre possíveis lesões. *Diálogos em Saúde*, 1(1).
- Dvir, Z., & Müller, S. (2020). Multiple-joint isokinetic dynamometry: a critical review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(2), 587-601.
- Gali, J. C., Adad, M. A. H., & Mod, M. S. B. (2005). Causas potenciais de recidiva da instabilidade após reconstrução do ligamento cruzado anterior. *Rev. bras. ortop*, 52-59.
- Grindem, H., Snyder-Mackler, L., Moksnes, H., Engebretsen, L., & Risberg, M. A. (2016). Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *British journal of sports medicine*, 50(13), 804-808.
- Herrington, L., Ghulam, H., & Comfort, P. (2021). Quadriceps strength and functional performance after anterior cruciate ligament reconstruction in professional soccer players at time of return to sport. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(3), 769-775.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2004). Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *JBJS*, 86(8), 1601-1608.
- Johnson, V. L., Roe, J. P., Salmon, L. J., Pinczewski, L. A., & Hunter, D. J. (2016). Does age influence the risk of incident knee osteoarthritis after a traumatic anterior cruciate ligament injury?. *The American journal of sports medicine*, 44(9), 2399-2405.
- Köche, J. C. (2016). *Fundamentos de metodologia científica*. Editora Vozes.
- Kyritsis, P., Bahr, R., Landreau, P., Miladi, R., & Witvrouw, E. (2016). Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *British journal of sports medicine*, 50(15), 946-951.
- Meredith, S. J., Rauer, T., Chmielewski, T. L., Fink, C., Diermeier, T., Rothrauff, B. B., ... & Wilk, K. (2020). Return to sport after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Injury Return to Sport Consensus Group. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 8(6), 2325967120930829.
- de Morais, L. M., & de Morais Faria, C. D. C. (2017). Relação entre força e ativação da musculatura glútea e a estabilização dinâmica do joelho: revisão sistemática da literatura. *Acta Fisiátrica*, 24(2), 105-112.
- Rambaud, A. J., Ardern, C. L., Thoreux, P., Regnaud, J. P., & Edouard, P. (2018). Criteria for return to running after anterior cruciate ligament reconstruction: a scoping review. *British journal of sports medicine*, 52(22), 1437-1444.
- Sonnery-Cottet, B., Saithna, A., Quelard, B., Daggett, M., Borade, A., Ouanezar, H., ... & Blakeney, W. G. (2019). Arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: a scoping review of the efficacy of interventions. *British journal of sports medicine*, 53(5), 289-298.
- Wellsandt, E., Failla, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2017). Limb symmetry indexes can overestimate knee function after anterior cruciate ligament injury. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 47(5), 334-338.
- Wilk, K. E. (2015). Anterior cruciate ligament injury prevention and rehabilitation: let's get it right. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 45(10), 729-730.
- Young, S. W., Valladares, R. D., Loi, F., & Drago, J. L. (2016). Mechanoreceptor reinnervation of autografts versus allografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 4(10), 2325967116668782.