



Escola Superior de Saúde Fernando Pessoa

Licenciatura em Fisioterapia Projeto de Graduação

**Os efeitos da *Cross-education* na recuperação da força do quadríceps, senso de posição articular do joelho, e funcionalidade após a reconstrução do ligamento cruzado anterior:
Revisão bibliográfica.**

Jeanne Marion
Estudante de Fisioterapia
Escola Superior de Saúde Fernando Pessoa
38277@ufp.edu.pt

Prof. Doutora Luísa Amaral
Professora Adjunta
Escola Superior de Saúde Fernando Pessoa
lamaral@ufp.edu.pt

Porto, Maio de 2022

Resumo

Introdução: a *Cross-education* (CE) ou treino unilateral do membro não afetado é uma estratégia terapêutica comumente utilizada no ganho de força no membro contralateral. No entanto, os efeitos da CE em pacientes com reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA) são ainda pouco conhecidos. **Objetivo:** verificar os efeitos da *Cross-education* na recuperação da força do quadríceps, senso de posição articular do joelho, e funcionalidade após a reconstrução do LCA. **Metodologia:** foi realizada uma pesquisa computadorizada nas bases de dados *PubMed*, *Web of Science* e *PEDro*, no sentido de identificar estudos randomizados controlados que avaliassem os efeitos da CE após ligamentoplastia do LCA. A qualidade metodológica foi analisada através da escala de *PEDro*. **Resultados:** foram incluídos 6 estudos com uma classificação média de 6.17/10 na classificação de *PEDro*, num total de 262 participantes de ambos os géneros, dos 15 aos 60 anos de idade. A CE não se mostra efetiva no aumento da funcionalidade, e os resultados não são consensuais no ganho de força do quadríceps. Porém, existe uma melhoria da percepção do senso de posição articular do joelho em amplitudes extremas. **Conclusão:** não é possível verificar, de forma consistente, uma melhoria significativa de todos os parâmetros avaliados após a implementação da CE.

Mais estudos serão necessários para validar a CE como adjuvante de um protocolo de reeducação.

Palavras-chave: Ligamento cruzado anterior, *Cross-Education*, força, funcionalidade, propriocepção.

Abstract

Introduction: Cross-education (CE) or unilateral training of the unaffected limb is a commonly used therapeutic strategy for gaining strength in the contralateral limb. However, in patients with anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction, the effect of EC is unknown. **Objective:** to verify the effects of Cross-education on quadriceps strength recovery, knee joint position sense, and functionality after ACL reconstruction. **Methodology:** a computerized search was conducted in *PubMed*, *Web of Science*, and *PEDro* databases, in order to identify randomized controlled studies that evaluated the effects of Cross-education after ACL ligamentoplasty. Methodological quality was analyzed using the *PEDro* scale. **Results:** 6 studies were included with an average PEDro score of 6.17/10, with a total of 262 participants of both genders, from 15 to 60 years of age. CE is not effective in increasing functionality, and the results are not consensual in the gain of quadriceps strength. However, there is an improvement in the perception of the sense of joint position of the knee in extreme amplitudes. **Conclusion:** it is not possible to consistently verify a significant improvement of all parameters assessed after the implementation of EC.

Further studies will be necessary to validate EC as an adjuvant to a re-education protocol.

Keywords: Anterior cruciate ligament, Cross-Education, strength, functionality, proprioception.

Introdução

As lesões do ligamento cruzado anterior (LCA) são uma das lesões ortopédicas mais comuns e de maior importância na articulação do joelho. Na população geral, a incidência anual da lesão isolada do LCA é de 68,6 por 100.000 pessoas, significativamente maior em pacientes do gênero masculino (Sanders et al., 2016). Segundo Musahl et al. (2012), o principal estabilizador do joelho é o LCA, tendo a particularidade de limitar a translação anterior da tíbia e a rotação interna. Deste modo, a sua disfunção resultará em instabilidade anterior e rotatória (Zantop et al., 2007). O mecanismo lesivo do LCA que ocorre mais comumente é sem contato, podendo acontecer durante uma rotação, mudança de direção, contusão e recepção de um salto com o joelho próximo da extensão total e em valgo (Alentorn-Geli et al., 2009).

Existem diferentes opções para o tratamento da ruptura deste ligamento. Entre elas encontramos a reabilitação sem cirurgia/ conservadora, a reconstrução do LCA seguida de reeducação pós-operatória, e por fim uma reabilitação pré-operatória seguida da reconstrução do LCA e de reabilitação pós-operatória (Filbay e Grindem, 2019).

A reconstrução cirúrgica do LCA é frequentemente indicada para prevenir a degeneração precoce da articulação do joelho. Tem como principal objetivo restaurar a estabilidade funcional, uma vez que há pouca capacidade de cicatrização biológica do LCA original (Lin, Boyle, Marom, e Marx, 2020), e permitir o retorno à atividade desportiva mais precocemente (Kyritsis et al., 2016). A cirurgia de reconstrução pode ser realizada com diversas técnicas de ligamentoplastia, diferentes tipos de enxertos, cada um com as suas vantagens e desvantagens. Os tipos de autoenxerto comumente usados são com o tendão rotuliano ou técnica *Ossso Tendão Ossso* (OTO), tendão dos isquiotibiais, e tendão do quadríceps (Lin, Boyle, Marom e Marx, 2020).

Embora a reconstrução do LCA tenha vantagens, o risco de lesão subsequente do joelho lesado ou do joelho contralateral é elevado durante pelo menos 1 a 5 anos pós cirurgia (Salmon et al., 2005). Várias complicações são regularmente observadas, tais como diminuição na força muscular, locais de carga alterados, redução do desempenho atlético, entre outras. Estes fatores potenciam o risco de uma segunda lesão do LCA/ recidiva, podendo comprometer a funcionalidade da articulação do joelho e/ou o retorno à atividade desportiva (Schmitt et al., 2015). De acordo com diversos autores (Ithurburn et al., 2015), existem deficiências funcionais significativas e prolongadas, especialmente a força do quadríceps diminuída, que é um comprometimento relevante e onipresente após a reconstrução do LCA.

A reconstrução do LCA é seguida por um programa de reabilitação progressiva, com o objetivo de resolver deficiências e melhorar a função neuromuscular (Diermeier et al., 2020), deve-se ter em consideração o tempo de cicatrização e ligamentização do enxerto (Pauzenberger, Syré e Schurz, 2013). A reabilitação apoiada no exercício inclui diversos componentes, tais como treino de resistência, exercício neuromuscular, tarefas funcionais, e treino específico do gesto desportivo. A finalidade é de restaurar a função do joelho, eliminar as barreiras psicológicas, prevenir recidivas, diminuir o risco de osteoartrite do joelho e melhorar a qualidade de vida a longo prazo (Filbay e Grindem, 2019). O critério para o retorno à atividade após a intervenção, considerado como um dos principais objetivos da reabilitação, é de otimizar a força muscular do quadríceps (Ithurburn et al., 2015).

A técnica da *Cross-education* (CE), tal como preconizado na meta-análise de Manca, Dragone, Dvir e Deriu (2017), revelou promover um efeito benéfico no ganho de força no membro contralateral de 11,9%. Nos últimos anos, a crescente atenção para o treino contralateral, particularmente em situações clínicas, levou a um aumento exponencial da investigação com foco na CE (Manca, Dragone, Dvir e Deriu, 2017). Os efeitos benéficos da CE são definidos quando o *Output* motor é melhorado no membro não treinado após a execução de exercício unilateral, quando a melhoria do *Output* motor só afeta os músculos homólogos no membro contralateral, e quando ocorre durante o treino de força muscular ou durante a aprendizagem de habilidades motoras. A CE pode ser aplicada na tentativa de atenuar a redução de força e a atrofia muscular nas partes corporais lesadas, e potencializar a força muscular durante as diferentes fases da reabilitação músculo-esquelética (Frazer et al., 2018). A CE tem vindo a ser proposta como uma estratégia terapêutica com o intuito de aumentar a força muscular do membro contralateral, após o treino de força unilateral do membro ipsilateral (Manca, Dragone, Dvir e Deriu, 2017). Assim, a CE pode ser caracterizada por uma alteração nervosa funcional na ativação muscular. A melhoria do *Output* motor provem mais de adaptações do sistema nervoso central, do que das periféricas (tecido muscular) (Andrushko, Gould e Farthing, 2018). Considerando a grande incidência de lesões do LCA e a necessidade inerente de realizar uma ligamentoplastia, independentemente do seu tipo, torna-se pertinente analisar a efetividade de novas técnicas terapêuticas coadjuvantes às existentes, tal como CE. Por outro lado, os artigos atuais sobre o efeito da CE são muito controversos, portanto, uma revisão da literatura sobre a temática em estudo, poderá ser mais um contributo para a evidência terapêutica da CE.

Pelo anteriormente exposto, o objetivo deste estudo consiste em verificar os efeitos da *Cross-education* na recuperação da força do quadríceps, senso de posição articular do joelho, e funcionalidade após a reconstrução do ligamento cruzado anterior.

Metodologia

Esta revisão bibliográfica foi reportada com base na declaração *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (Page et al., 2021).

Critérios de seleção

Critérios de inclusão: (1) estudos randomizados controlados / clínicos; (2) em humanos de ambos os gêneros; (3) publicados até Novembro de 2021; (4) escritos em língua inglesa, francesa e portuguesa; (5) implementação da CE em pacientes com reconstrução do LCA; (6) estudos que avaliem a força do quadríceps, ou/e o senso de posição articular do joelho, e/ou a funcionalidade.

Critérios de exclusão: (1) estudos que combinem a CE com outra técnica de tratamento; (2) lesão do LCA sem reconstrução; (3) artigos sem livre acesso; (4) *guidelines*.

Para determinar os critérios, foi realizada a leitura integral do resumo dos artigos selecionados, e se necessário o texto integral. No seguimento da leitura dos artigos e retida a informação necessária, os mesmos foram sujeitos a avaliação quanto à qualidade metodológica segundo a escala de *PE德罗* (Maher et al., 2003).

Estratégias de Pesquisa: para formular a questão clínica utilizou-se o método *PICO* que permite identificar a população alvo, a intervenção estudada, com que técnica a intervenção é comparada e, finalmente, o *outcome*. **P:** pacientes com reconstrução do LCA entre 15 e 60 anos de idade; **I:** a *Cross-education*; **O:** recuperação da força do quadríceps, senso de posição articular do joelho, e funcionalidade.

Para a realização desta revisão bibliográfica, foi efetuada uma pesquisa até Novembro de 2021, com recurso às bases de dados científicas *PubMed*, *Web of Science*, *PE德罗*, e outras fontes de dados, as quais se basearam em referências encontradas em artigos. Todas estas fontes permitiram verificar a efetividade da *Cross-education* na reabilitação após a reconstrução do LCA. A pesquisa foi feita através das palavras-chave, *Cross-education*, *Contralateral strength training*, *ACL*, *strength*, *Proprioception*, *Function*, utilizando os operadores de lógica OR e AND. Resultando a seguinte combinação de palavras-chave na *PubMed*, e *Web of Science*: (“*Cross-education*” OR “*Contralateral strength training*”) AND (“*ACL*”) AND (“*strength*” OR “*Proprioception*” OR “*Function*”). Na base de dados *PE德罗* foram utilizados diversos conjuntos de palavras-chave: (*Cross-education ACL strength*); (*Cross-education ACL function*); (*Cross-education ACL proprioception*); (*Contralateral strength training ACL*

strength); (*Contralateral strength training ACL function*); (*Contralateral strength training ACL proprioception*).

Resultados

Na pesquisa efetuada foram encontrados 22 artigos, 20 nas bases de dados anteriormente referidas, e 2 em outras fontes, nomeadamente referências de outros estudos. Após a remoção dos duplicados foram identificados 11 artigos. Durante o processo de exclusão dos artigos, 4 estudos foram excluídos por não estarem relacionados com a questão de pesquisa, e 1 por estar sem livre acesso. No final, foram seleccionados 6 artigos randomizados controlados/ clínicos, os quais cumpriram todos os critérios da presente revisão. O fluxograma *PRISMA* referente à pesquisa bibliográfica realizada está representado na Figura 1.

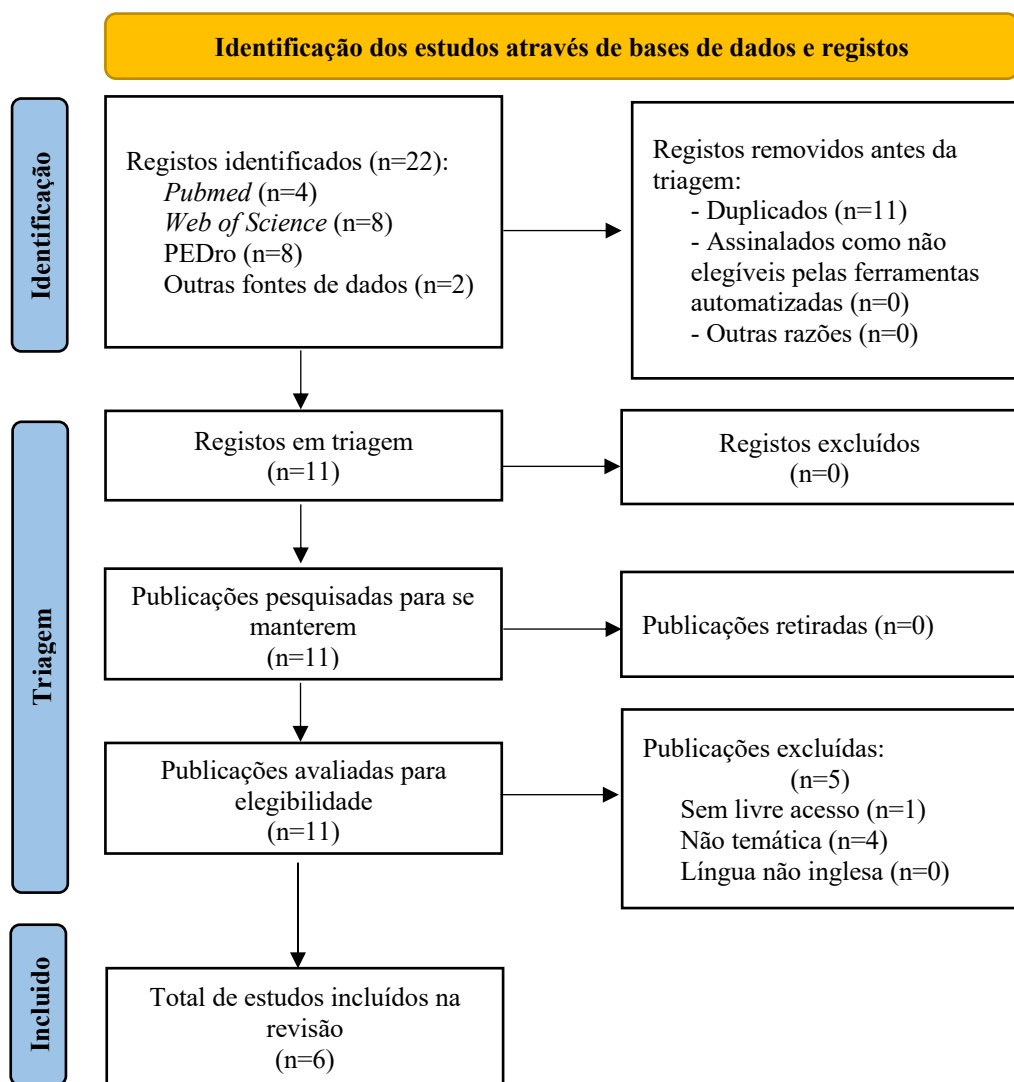


Figura 1: Diagrama de PRISMA- processo de seleção de literatura

Qualidade Metodológica: foi avaliada através da escala de *PEDro* por dois investigadores, e em caso de dúvida recorreu-se a um terceiro. Os estudos apresentam uma qualidade metodológica com média aritmética de 6,17 em 10 na escala de *PEDro* (tabela 1).

Tabela 1 - Classificação da qualidade metodológica dos artigos de acordo com a escala de *PEDro* (pedro.org)

Autor (ano)	Critérios											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Minshull et al. (2021)	N	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	5/10
Harput et al. (2019)	N	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	7/10
Zult et al. (2019)	N	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	7/10
Zult et al. (2018)	N	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	7/10
Papandreou et al. (2013)	N	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	4/10
Papandreou et al. (2009)	N	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	7/10
Média Total											6,17/10	

Legenda: N= não aplicável; 1= valido; 0= não valido.

Critérios: 1- Elegibilidade; 2- Distribuição aleatória; 3- Distribuição cega; 4- Comparação ao nível de referência; 5- Sujeitos cegos; 6- Fisioterapeutas cegos; 7- Avaliadores cegos; 8- Seguimento adequado; 9- Intenção de tratamento; 10- Comparações estatísticas inter-grupos; 11- Medidas de precisão e de variabilidade.

Apenas um estudo não cumpriu o critério 4 da escala de *PEDro*. Nenhum estudo satisfaz o critério 5 de cegamento dos sujeitos, e apenas um estudo cumpriu os critérios 6, e 8. Dois estudos não satisfizeram os critérios 7, 9 e 11. Por fim, todos os estudos cumpriram os critérios 2, 3, e 10.

Descrição dos estudos: no total, 262 indivíduos efetuaram os protocolos dos 6 estudos selecionados. A maioria de indivíduos era do género masculino (157 indivíduos masculinos vs. 57 do género feminino), e o género de 48 participantes não foi mencionado. O intervalo de idade variou entre 15 e 60 anos. As intervenções apresentaram uma duração de 8 a 12 semanas, realizando tratamentos de 2 a 5 vezes por semana.

Na tabela 2 estão resumidos os artigos científicos incluídos nesta revisão bibliográfica, mencionando os autores, ano de publicação, características dos indivíduos envolvidos nos protocolos, objetivo de estudo, parâmetros de avaliação, procedimentos das intervenções e resultados encontrados.

Tabela 2 – Súmula dos estudos incluídos na presente revisão

Autor/ Ano/ Tipo de estudo	Características da amostra	Objetivo do estudo	Protocolo de intervenção	Parâmetros e instrumentos de avaliação	Resultados
Minshull et al. (2021) Randomized Controlled Trial	<p>N=44</p> <p>Grupo de intervenção (GI) n= 22 (15H; 7 M) Idade: 33.3 ± 10.0 anos Tempo de lesão: 8,3 meses Membro lesado: 13 Esq, 9 Drt Membro dominante: 3 Esq, 19 Drt Tipo de ligamentoplastia: 12 OTO, 10 TI, 0 TQ</p> <p>Grupo de controlo (GC) n=22 (10H; 12 M) Idade: 30.4 ± 9.4 anos Tempo de lesão: 8.3 meses Membro lesado: 10 Esq, 12 Drt Membro dominante: 3 Esq, 19 Drt Tipo de ligamentoplastia: 11 OTO, 10 TI, 1 TQ VI: 15-60 anos</p>	<p>Examinar os efeitos dos exercícios de <i>Cross-education</i> (CE) na força e no desempenho às 10 e 24 semanas após a cirurgia do ligamento cruzado anterior (LCA).</p>	<p>Período do estudo: 2 semanas pós cirurgia, duração de 8 semanas / 3 treinos por semana.</p> <p>GI: Exercícios de extensão do joelho, 3 séries de 3-5 RM; Exercícios de flexão do joelho e <i>leg press</i> realizados em máquinas de resistência, com 1,5–2 min de descanso entre séries.</p> <p>GC: Frequência e tempo igual ao GI.</p> <p>Os participantes do GC não sofreram qualquer intervenção nos membros inferiores.</p> <p>Foi realizado um programa de alongamento estático bilateral dos membros superiores (3x 20seg).</p>	<p>Peak torque Quadriceps (PTQ) (dinamómetro isocinético)</p> <p>International Knee Documentation Committee score (IKDC)</p> <p>One-Leg Hop for Distance Test (OLHDT)</p>	<p>10 semanas após a intervenção notou-se uma diferença significativa do PTQ no membro afetado entre GI e GC (p=0.004), e no membro não afetado entre GI e GC (p<0.001). A diferença entre grupos foi mantida até às 24 semanas (p=0.016).</p> <p>Foi observado uma melhoria significativa em ambos os grupos no IKDC (p= 0.001) e no OLHDT (p= 0.004), sem diferenças entre eles (p= 0.96).</p>
Harput et al. (2019) Randomized Controlled Trial	<p>N=48</p> <p>Grupo de intervenção 1 (GI 1) n= 16 Idade: 29.7±6.9 anos Tempo de lesão: 7.9±14.3 meses Tipo de ligamentoplastia: 16 TI</p>	<p>Examinar os efeitos da CE com exercícios de contração concêntrica e excêntrica na</p>	<p>Período do estudo: 4 semanas pós cirurgia, duração de 8 semanas / 3 treinos por semana.</p> <p>GI 1: Exercícios concêntricos com 3 séries de 12 RM a 60°/s, variando de 10° a 90° de flexão, com 2 min de descanso entre séries.</p>	<p>Contração isométrica voluntária máxima (CIVM) do Quadriceps (dinamómetro isocinético)</p>	<p>Ao longo do tempo houve uma melhoria significativa do CIVM do quadríceps do membro com ligamentoplastia (p= 0.01). De facto, foi observada uma melhoria significativa nos GI1 e GI2 em comparação ao GC durante a 12ª semana após a cirurgia (p=0.04 e p=0.03, respetivamente), e foi mantida na 24ª semana (p=0.01 e p< 0.001, respetivamente), sem diferenças significativas entre o GI1 e o GI2 (p>0.05).</p>

	<p>Grupo de intervenção 2 (GI 2) n= 16 Idade: 30.4 ± 7.5 anos Tempo de lesão: 13.6±18.8 meses Tipo de ligamentoplastia: 16 TI</p> <p>GC n= 16 Idade: 28.1±6.1 anos Tempo de lesão: 10.1±11.0 meses Tipo de ligamentoplastia: 16 TI</p> <p>VI: 17-45 anos, com uma média de idades de 29.5 ± 6.8 anos</p>	<p>recuperação da força do quadríceps e da função do joelho após a reconstrução do LCA.</p>	<p>GI 2: Exercícios excêntricos com 3 séries de 12 RM a 60°/s, variando de 10° a 90° de flexão, com 2 min de descanso entre séries.</p> <p>GC: Frequência e tempo iguais ao GI. No GC não houve qualquer intervenção além do protocolo de reabilitação padrão.</p>	<p>OLHDT</p> <p>IKDC</p>	<p>No membro não lesado, a CIVM do quadríceps apresentava um aumento significativo ao longo do tempo (p= 0.01). Foram encontrados ganhos significativos nos GI1 e GI2 em comparação ao GC durante a 12ª semana pós cirurgia (p<0.001), sem diferenças significativas entre o GI1 e o GI2 (p>0.05). Na 24ª constatou-se uma melhoria relevante no GI2, em comparação ao GC (p=0.01). Em suma, existiu uma melhoria significativa em ambos os GIs da CIVM ao longo do tempo (p = 0.02), de um modo similar (p>0.05).</p> <p>Não foram observadas diferenças significativas do OLHDT e IKDC entre GI1, GI2 e GC (p>0.05).</p>
<p>Zult et al. (2019)</p> <p>Randomized Controlled Trial</p>	<p>N=43</p> <p>GI n= 22 (16H; 6 M) Idade: 28 ± 9.0 anos Tempo de lesão: 217 (166) dias Membro dominante: 3 Esq, 19 Drt. Membro operado: 12 D, 10 ND. Tipo de ligamentoplastia: 3 OTO, 18 TI, 1 A.</p> <p>GC n=21 (8H; 13 M) Idade: 28 ± 10.0 anos Tempo de lesão: 190 (112) dias Membro dominante: 3 Esq, 18 Drt. Membro operado: 15 D e 6 ND. Tipo de ligamentoplastia: 2 OTO, 19 TI, 0 A.</p> <p>VI: 18-60 anos</p>	<p>Examinar se a CE, efetuada como um adjuvante à reabilitação padrão, aceleraria a reabilitação até às 26 semanas após a reconstrução do LCA, atenuando a fraqueza do quadríceps.</p>	<p>Período do estudo: Pós cirurgia, duração de 12 semanas / 2 treinos por semana.</p> <p>GI: Exercícios com 3 séries de 8-12 RM de <i>leg press</i>, e exercícios de extensão do joelho realizados em máquinas de resistência, com 1-2 min de descanso entre séries.</p> <p>GC: Frequência e tempo iguais ao GI. Os participantes deste grupo não realizaram qualquer intervenção para além do protocolo de reabilitação padrão.</p>	<p>Hughston Clinic Knee (HCK)</p> <p>CVM dos Quadríceps (dinamómetro isocinético)</p> <p>OLHDT</p>	<p>Ao longo do tempo houve uma melhoria significativa do HCK em ambos os grupos (p <0.001). Contudo, às 5 semanas, foi relatado um défice significativo (p<0.001), ultrapassado às 26 semanas (p<0.001).</p> <p>No membro lesado a CVM do quadríceps, apresentava uma redução significativa às 5 e 12 semanas (p<0.05), contrariamente ao aumento significativo verificado às 26 semanas (p<0.05). No membro não lesado a CVM do quadríceps demonstrou um aumento significativo ao longo do tempo (p<0.05).</p> <p>No OLHDT, verificou-se um aumento significativo no GC no membro não lesionado às 26 semanas (p=0.039).</p>

<p>Zult et al. (2018) Randomized Controlled Trial</p>	<p>N=43 GI n= 22 (16H; 6 M) Idade: 28 ± 9.0 anos Tempo de lesão: 217 (166) dias Membro dominante: 3 Esq, 19 Drt. Membro operado: 9 Esq, 13 Drt. Tipo de ligamentoplastia: 3 OTO, 18 TI, 1 A. GC n=21 (8H; 13 M) Idade: 28 ± 10.0 anos Tempo de lesão: 190 (112) dias Membro dominante: 3 Esq, 18 Drt. Membro operado: 7 Esq, 14 Drt. Tipo de ligamentoplastia: 2 OTO, 19 TI, 0 A. VI: 18-60 anos</p>	<p>Examinar se a CE, como um adjuvante à reabilitação padrão, aceleraria a reabilitação da força do quadríceps e da função neuromuscular até 26 semanas após a cirurgia.</p>	<p>Período do estudo: Pós cirurgia, duração de 12 semanas / 2 treinos por semana. GI: Exercícios com 3 séries de 8-12 RM de <i>leg press</i>, e exercícios de extensão do joelho, realizados em máquinas de resistência, com 1-2 min de descanso entre séries. GC: Frequência e tempo iguais ao GI. Os participantes apenas efetuaram o protocolo de reabilitação padrão.</p>	<p>CVM Quadríceps (dinamómetro isocinético) Controlo da força do quadríceps (precisão e variabilidade) (dinamómetro isocinético) Propriocepção (senso de posição articular) da flexão do joelho a 15°, 30°, 45°, e 60° (dinamómetro isocinético)</p>	<p>Ao longo do tempo existiram alterações significativas da CVM do quadríceps no membro afetado ($p<0.001$). Contudo, às 5 e 12 semanas, foi relatado uma diminuição significativa, contrariamente ao aumento verificado às 26 semanas ($p\leq 0.015$). No membro não lesado a CVM do quadríceps revelou um aumento significativo entre as semanas 1 e 12 ($p<0.001$). Ao longo do tempo houve uma mudança significativa da precisão e da variabilidade no membro afetado e não afetado ($p\leq 0.039$). Em ambos os membros, verificou-se uma melhoria significativa ao longo das semanas ($p\leq 0.024$), exceto na variabilidade da força excêntrica do membro lesionado, com uma diminuição significativa às 5 semanas ($p=0.002$). Quanto à propriocepção, existiram alterações no membro não lesado com um ângulo alvo de 60° ($p=0.006$), no qual foi observada uma melhoria significativa às 5 semanas após a intervenção ($p=0.018$).</p>
<p>Papandreou et al. (2013) Randomized Controlled Trial</p>	<p>N= 42 GI 1 n= 14 (14H; 0 M) Idade: 23.64 ± 2.56 anos Tempo de lesão: 4.42±1.79 meses Membro dominante: 3 Esq, 7 Drt, 4 Igual. Tipo de ligamentoplastia: 14 TI GI 2 n= 14 (14H; 0 M) Idade: 25.07 ± 2.40 Tempo de lesão: 4.42±1.75 meses Membro dominante: 2 Esq, 7 Drt, 5 Ambidextros.</p>	<p>Avaliar os efeitos da CE com exercícios excêntricos no défice de força muscular do quadríceps, após reconstrução do LCA, e examinar as</p>	<p>Período do estudo: Pós cirurgia, duração de 8 semanas. GI 1: 3 treinos por semana. Exercícios com 2 séries de aquecimento sem carga, seguida por 5 séries de 6 repetições de 80% de 1 RM da força de contração excêntrica do quadríceps no movimento de extensão, realizada em máquinas de</p>	<p>Força do Quadríceps (FQ) (dinamómetro isocinético)</p>	<p>Não foram encontradas diferenças significativas da FQ no membro não afetado entre GI1, GI2 e GC ($p> 0.05$). Porém, no membro lesionado verificou-se um efeito significativo sobre o FQ em ambos os grupos após a CE ($p<0.05$), existindo uma diferença significativa entre o GI1 e o GC ($p=0.04$), e entre o GI2 e o GC ($p<0.001$).</p>

	<p>Tipo de ligamentoplastia: 14 TI</p> <p>GC n= 14 (14H; 0 M) Idade: 23.14±2.71 anos Tempo de lesão: 3.67±1.78 meses Membro dominante: 3 Esq, 8, Drt, 3 Ambidextros. Tipo de ligamentoplastia: 14 T VI: 20-25 anos</p>	<p>alterações quando a CE é fornecida com frequências diferentes, 3 ou 5 vezes por semana.</p>	<p>resistência, com 2 min de descanso entre séries.</p> <p>GI 2: 5 treinos por semana. Exercício similar ao grupo GI1.</p> <p>GC: Frequência e tempo iguais ao GI. Os participantes apenas realizaram o protocolo de reabilitação padrão.</p>	<p>Ao longo do tempo, houve uma melhoria significativa no déficit de FQ entre GI1, GI2 e GC (p<0.001). Foi observado uma melhoria significativa do GI1 relativamente ao GC (p=0.01), e entre GI2 e GC (p=0.04).</p>	
	<p>N= 42</p> <p>GI 1 n= 14 (14H; 0 M) Idade: 23.64 ± 2.56 Tempo de lesão: 4.42±1.79 meses Tipo de ligamentoplastia: 14 TI</p> <p>GI 2 n= 14 (14H; 0 M) Idade: 25.07 ± 2.40 Tempo de lesão: 4.42±1.75 meses Tipo de ligamentoplastia: 14 TI</p> <p>GC n= 14 (14H; 0 M) Idade: 23.14±2.71 Tempo de lesão: 3.67±1.78 meses Tipo de ligamentoplastia: 14 TI VI: 20-25 anos</p>	<p>Investigar o efeito da CE, como reabilitação complementar na fase inicial da reconstrução do LCA.</p>	<p>Período do estudo: Pós cirurgia, duração de 8 semanas.</p> <p>GI 1: 3 treinos por semana. Exercícios com 2 a 3 séries de aquecimento sem carga, seguida por 5 séries de 6 repetições de 80% de 1 RM de extensões de joelho excêntricos realizados em máquinas de resistência, com 2 min de descanso entre séries.</p> <p>GI 2: 5 treinos por semana. Exercícios similares ao grupo GI 1.</p> <p>GC: Frequência e o tempo iguais ao GI. Os participantes apenas realizaram o protocolo de reabilitação padrão.</p>	<p>Senso de posição articular nos ângulos 45°, 60° e 90° de flexão do joelho (dinamómetro isocinético)</p> <p>Lysholm knee score (SLS)</p>	<p>Não foram encontradas diferenças significativas no senso da posição articular nos ângulos 45° e 60°, entre GI1, GI2 e GC (p=0.62 e p=0.74, respetivamente), contudo, houve uma diferença significativa a 90° (p=0.02). Ao avaliar os grupos de forma independente, o GI1 apresentou alterações com significado estatístico, relativamente ao GC (p=0.01), mas não entre GI 1 e GI 2 (p>0.05), e entre GI 2 e GC (p>0.05).</p> <p>No SLS, foram observadas diferenças significativas entre os grupos (p<0.01): entre GI 1 e GC (p<0.01), e também entre o GI 2 e o GC (p=0.03). Já entre GI 1 e GI 2 não foram encontradas diferenças relevantes (p>0.05).</p>

Legenda: A- Artificial; CE- Cross-Education; CIVM- Contração isométrica voluntária máxima; CVM- Contração voluntária máxima; CIVM- Contração isométrica voluntária máxima; D- Dominante; Drt- Direita; Esq- Esquerda; FQ- Força do *Quadriceps* GC- Grupo Controlo; GI- Grupo intervenção; H- Homens; HCK- *Hughston Clinic Knee*; HOP- *hop for distance*; IKDC- *International Knee Documentation Committee score*; LCA- Ligamento cruzado anterior; M- Mulheres; ; ND- Não dominante; OLHDT- *One-Leg Hop for Distance Test*; OTO- Osso tendão osso; PTQ- *Peak torque* Quadriceps; RM- Repetições máximas; SLS- *Lysholm knee scores*; TI- Tendão isquiotibiais; TQ- Tendão quadricipital; VI- variação de idade.

Discussão

O objetivo desta revisão foi verificar os efeitos da *Cross-education* (CE) na recuperação da força do quadríceps, senso de posição articular do joelho, e funcionalidade após a reconstrução do ligamento cruzado anterior, com diferentes tipos de ligamentoplastias.

As lesões do LCA estão entre as lesões mais comuns no joelho encontradas na população geral. A reabilitação pós reconstrução do LCA é uma condição frequente na fisioterapia. Assim sendo, é importante e necessário ter em consideração diferentes técnicas e estratégias de tratamento, que podem ser utilizadas durante a prática clínica, tal como a CE, promovendo desta forma, o aprofundamento do conhecimento nesta área, procurando, cada vez mais, a melhoria da condição do paciente. Não tendo sido possível verificar, de forma consistente, uma evolução significativa de todos os parâmetros avaliados após a implementação da CE.

Funcionalidade: para testar a funcionalidade foi utilizado *One-Leg Hop for Distance Test* (OLHDT) (Minshull et al., 2021; Harput et al., 2019; Zult et al., 2019). Este teste consiste em ficar em equilíbrio unipodal sobre o membro inferior, saltar o mais longe possível, e realizar a recepção no mesmo membro sem perder o equilíbrio, o que permite verificar vários parâmetros, tais como a força muscular, o controlo neuromuscular, a apreensão, e a estabilidade (Schelin, Pini, Markström e Häger, 2021). Nos estudos de Minshull et al. (2021) e de Harput et al. (2019), a implementação da CE não proporcionou alterações significativas na distância alcançada pelo salto unipodal. Contrariamente ao verificado no estudo de Zult et al. (2019), no qual o OLHDT melhorou de forma significativa no grupo de controlo ao nível do membro não lesado às 26 semanas após cirurgia.

Nos diferentes estudos foram aplicadas distintas escalas de avaliação da funcionalidade em participantes que realizaram ligamentoplastia do LCA. O *International Knee Documentation Committee score* (IKDC) foi utilizado por Minshull et al. (2021) e por Harput et al. (2019), os quais observaram a inexistência de efeitos favoráveis com a aplicação da CE, incluindo exercícios de extensão e flexão do joelho e *leg press* (Minshull et al., 2021), assim como integrando exercícios de contração concêntrica e excêntrica (Harput et al., 2019). Corroborando estes resultados, e com a utilização do questionário da *Hughston Clinic Knee*, Zult et al. (2019), não se alcançaram melhorias significativas aquando da realização de exercícios de extensão do joelho e no *leg press*.

Os artigos anteriormente referidos não obtiveram ganhos na funcionalidade através da implementação da CE, independentemente do instrumento de avaliação utilizado. Pelo contrário, Papandreou et al. (2009), ao utilizar o *Lysholm knee score*, constataram que a CE

efetuada como reabilitação complementar durante as 8 primeiras semanas da reconstrução do LCA foi igualmente efetiva com 3 ou 5 vezes por semana, ou seja, a frequência de treino por semana não altera o resultado ao nível da funcionalidade.

Se compararmos o tipo específico de exercício, apenas a realização de 5 séries de 6 repetições de 80% de 1 RM de extensão excêntrica do joelho realizados em máquinas de resistência, com 2 min de descanso entre séries, e com um aquecimento prévio, foi efetivo (Papandreou et al., 2009). Pelo contrário, não se obtiveram resultados satisfatórios quando foram realizados exercícios com 3 séries de 8-12 RM de *leg press*, e exercícios de extensão do joelho realizados em máquinas de resistência, com 1-2 min de descanso entre séries (Zult et al., 2019), assim como quando foram efetuados exercícios de extensão do joelho, 3 séries de 3-5 RM, exercícios de flexão do joelho e *leg press* realizados em máquinas de resistência, com 1,5–2 min de descanso entre séries (Minshull et al., 2021), ou exercícios concêntricos ou excêntricos com 3 séries de 12 RM a 60°/s, variando de 10° a 90° de flexão, com 2 min de descanso entre séries (Harput et al., 2019).

Hipoteticamente, a realização da CE com exercícios de extensão do joelho próximos da força máxima, e de forma excêntrica, tal como o número de séries realizadas (igual ou superior a 5 séries), será a forma de execução que poderá proporcionar uma melhoria na funcionalidade dos pacientes submetidos a ligamentoplastia do LCA, nomeadamente com enxertos dos isquiotibiais.

Senso de posição articular: nos estudos de Zult et al. (2018) e Papandreou et al. (2009) foi avaliado um subcomponente da proprioceção, especificamente o senso de posição articular da flexão do joelho a 15°, 30°, 45° e 60° (Zult et al., 2018) e a 45°, 60° e 90° (Papandreou et al., 2009), utilizando como instrumento de avaliação um dinamómetro isocinético.

A aplicação da CE com exercícios de *leg press* e exercícios de extensão do joelho, ou somente com exercícios de extensão do joelho no membro não lesado, com uma duração de 12 ou de 8 semanas (Zult et al., 2018 e Papandreou et al., 2009, respetivamente), não foi efetiva no ganho de senso de posição articular da flexão do joelho a 15°, 30° (Zult et al., 2018) e 45° (Zult et al., 2018; Papandreou et al., 2009).

Quanto ao senso de posição articular da flexão do joelho a 60°, os resultados não foram consensuais, pelo facto de ter havido uma melhoria significativa com a aplicação da CE com exercícios de *leg press* e extensão do joelho no membro não lesado às 5 semanas após a intervenção (Zult et al., 2018), e não terem sido observados efeitos positivos no estudo de

Papandreou et al. (2009). Contudo, a eficácia da CE com exercícios de extensão excêntrica de joelho foi verificada no ângulo de 90° (Papandreou et al., 2009).

Assim, pode-se supor que, em pacientes submetidos os ligamentoplastia do LCA, sobretudo com enxertos dos isquiotibiais, realizar a CE com exercícios de extensão de joelho, efetuados com força máxima e em contração excêntrica, será um tipo de intervenção terapêutica que poderá proporcionar melhorias no senso de posição articular em amplitudes mais extremas de flexão do joelho, nomeadamente em ângulos iguais ou superiores a 60°. Os autores Pincivero, Bachmeier e Coelho (2001) e Borsa et al. (1997) consideram que a sensibilidade ao movimento é aumentada perto dos extremos do alcance do movimento articular, pelo melhor desempenho dos recetores articulares nos finais de amplitude. Contudo, a capacidade de perceber o movimento passivo do joelho parece ser aprimorada quando a articulação está mais próxima da extensão máxima, e quando os músculos isquiotibiais, antagonistas do movimento, são alongados (Borsa et al., 1997; Pincivero, Bachmeier e Coelho, 2001), pois o senso de posição articular possui uma maior sensibilidade no movimento de extensão (Borsa et al., 1997).

Força muscular do quadríceps: foram utilizados diferentes métodos de determinação da força muscular do quadríceps, tais como *Peak torque* do quadríceps (PTQ) (Minshull et al., 2021), contração isométrica voluntária máxima (CIVM) (Harput et al., 2019), contração voluntária máxima (CVM) (Zult et al., 2018, 2019), controlo da força do quadríceps, ou seja, precisão e variabilidade (Zult et al., 2018), e, por fim, a força do quadríceps (FQ) (Papandreou et al., 2013). Todos estes métodos de quantificação da força muscular do quadríceps foram estimados com um dinamómetro isocinético, porém não permitiram uma comparação direta com boa fiabilidade e objetividade por serem distintos entre si, quer nas unidades de medida, quer nos diferentes recrutamentos musculares.

Quanto ao ganho de força do quadríceps, os resultados encontrados na literatura não são consensuais, relativamente ao *timing* da ocorrência de benefícios da aplicação da CE.

Papandreou et al. (2013), Minshull et al. (2021) e Harput et al. (2019) referem efeitos benéficos na FQ, PTQ e CIVM do quadríceps às 8 e 10 e 12 semanas após a intervenção. Já no estudo de Zult et al. (2018, 2019), apenas às 26 semanas pós intervenção foram observados aumentos significativos na CVM do quadríceps. Tanto Minshull et al. (2021) como Harput et al. (2019) também constataram que o ganho de força manteve-se até às 24 semanas.

De salientar que o efeito positivo da CE na CIVM do quadríceps, encontrado no estudo de Harput et al. (2019), resultou igualmente da realização de exercícios em contração concêntrica ou excêntrica ao longo do tempo no membro com reconstrução do LCA, ou seja, o tipo de

contração não altera o resultado ao nível da força do quadríceps do membro lesado. Por outro lado, Papandreou et al. (2013) também consideram que a periodicidade semanal de treinos (3 ou 5 vezes) não interfere na melhoria da FQ do membro com reconstrução do LCA.

Ao analisar o efeito da CE no membro não lesado, existem variações nos resultados obtidos pelos diferentes investigadores. Papandreou et al. (2013) não encontram melhoria da FQ. Pelo contrário, Zult et al. (2018, 2019) revelaram um aumento significativo na CVM do quadríceps entre as semanas 1 e 12, e Minshull et al. (2021) no PTQ entre a 10^a e 24^a semana. Harput et al. (2019) não observaram alterações significativas na 12^a semana. Contrariamente, o grupo que realizou exercícios excêntricos apresentou uma melhoria relevante às 24 semanas, ou seja, a contração excêntrica em comparação à concêntrica parece ter melhores resultados ao nível da força do quadríceps no membro não lesado. Zult et al. (2018) avaliam também o controlo da força do quadríceps, tanto no membro afetado como no não afetado, e constata uma melhoria da precisão e da variabilidade ao longo das semanas, exceto na 5^o semana.

Apesar do foco da reabilitação com CE seja obter benefícios no membro submetido a ligamentoplastia do LCA, tais como progressos funcionais, aumentos de força, melhorias na proprioção, entre outros, qualquer ganho no membro não afetado será positivo para o participante.

Resumindo, e de um modo hipotético, a realização da CE demonstra uma melhoria constante ao longo do tempo no membro não lesado, enquanto, no membro com reconstrução do LCA a CE não é efetiva no ganho de força do quadríceps nas primeiras semanas de treino, mas os efeitos positivos são visíveis nas semanas seguintes.

Limitações do estudo: os resultados obtidos na presente revisão poderão estar comprometidos devido ao facto existir um número reduzido de artigos da temática em estudo, o número amostral não ser representativo da população de indivíduos submetidos a ligamentoplastia do LCA, existir heterogeneidade no género, idade e maturação dos participantes. A metodologia utilizada nos vários estudos não foi similar, tanto nos parâmetros e instrumentos de avaliação como na duração da implementação da CE, o que dificultou a comparação dos resultados, assim como a sua robustez. E, da totalidade dos estudos analisados nenhum estudo cumpriu o cegamento dos seus participantes, o que poderá ser um viés nos resultados observados.

Conclusão

De um modo geral, a implementação da *Cross-Education* não se mostrou efetiva no aumento da funcionalidade. Ao analisar o contributo da CE na melhoria da perceção do senso de posição articular do joelho, constata-se que esta técnica é uma mais-valia quando executada em

amplitudes extremas. Quanto ao ganho de força do quadríceps, os resultados encontrados não foram consensuais. Alguns estudos obtiveram um incremento de força entre 8 e 12 semanas com um efeito durador até 24 semanas, enquanto, que outros estudos apenas verificaram essa melhoria às 26 semanas.

Sugestões para futuros estudos: recomenda-se a realização adicional de ensaios clínicos randomizados e controlados, com elevada especificidade e qualidade metodológica, para fundamentar com robustez os resultados obtidos com a implementação da CE na recuperação pós ligamentolastia do LCA.

Bibliografia

- Alentorn-Geli, E., Myer, G., Silvers, H., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C. e Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 17(7), 705–729.
- Andrushko, J., Gould, L. e Farthing, J. (2018). Contralateral effects of unilateral training: sparing of muscle strength and size after immobilization. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 43(11), 1131–1139.
- Borsa, P., Lephart, S., Irrgang, J., Safran, M. e Fu, F. (1997). The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes. *The American journal of sports medicine*, 25(3), 336–340.
- Diermeier, T., Rothrauff, B., Engebretsen, L., Lynch, A., Ayeni, O., Paterno, M., Xerogeanes, J., Fu, F., Karlsson, J., Musahl, V., Svantesson, E., Hamrin Senorski, E., Rauer, T., Meredith, S. e Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. (2020). Treatment after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 28(8), 2390–2402.
- Filbay, S. e Grindem, H. (2019). Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best practice & research. Clinical rheumatology*, 33(1), 33–47.
- Frazer, A., Pearce, A., Howatson, G., Thomas, K., Goodall, S. e Kidgell, D. (2018). Determining the potential sites of neural adaptation to cross-education: implications for the cross-education of muscle strength. *European journal of applied physiology*, 118(9), 1751–1772.
- Harput, G., Ulusoy, B., Yildiz, T., Demirci, S., Eraslan, L., Turhan, E. e Tunay, V. (2019). Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 27(1), 68–75.
- Ithurburn, M., Paterno, M., Ford, K., Hewett, T. e Schmitt, L. (2015). Young Athletes with Quadriceps Femoris Strength Asymmetry at Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Demonstrate Asymmetric Single-Leg Drop-Landing Mechanics. *The American journal of sports medicine*, 43(11), 2727–2737.
- Kyritsis, P., Bahr, R., Landreau, P., Miladi, R. e 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.
- Lin, K., Boyle, C., Marom, N. e Marx, R. (2020). Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sports medicine and arthroscopy review*, 28(2), 41–48.
- Maher, C., Sherrington, C., Herbert, R., Moseley, A. e Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical Therapy*, 83(8), 713-721.
- Manca, A., Dragone, D., Dvir, Z. e Deriu, F. (2017). Cross-education of muscular strength following unilateral resistance training: a meta-analysis. *European journal of applied physiology*, 117(11), 2335–2354.

- Minshull, C., Gallacher, P., Roberts, S., Barnett, A., Kuiper, J. e Bailey, A. (2021). Contralateral strength training attenuates muscle performance loss following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a randomised-controlled trial. *European journal of applied physiology*, 121(12), 3551–3559.
- Musahl, V., Kopf, S., Rabuck, S., Becker, R., van der Merwe, W., Zaffagnini, S., Fu, F. e Karlsson, J. (2012). Rotatory knee laxity tests and the pivot shift as tools for ACL treatment algorithm. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 20(4), 793–800.
- Page, M., Moher, D., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L., Stewart, L., Thomas, J., Tricco, A., Welch, V., Whiting, P. e McKenzie, J. (2021). Prisma 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *British Medical Journal*, 372.
- Papandreou, M., Billis, E., Antonogiannakis, E. e Papaioannou, N. (2009). Cross-Exercise on Quadriceps Deficit after ACL Reconstruction. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 1-9.
- Papandreou, M., Billis, E., Papathanasiou, G., Spyropoulos, P. e Papaioannou, N. (2013). Cross-Exercise on Quadriceps Deficit after ACL Reconstruction. *Journal of Knee Surg*, 26, 51–58.
- Pauzenberger, L., Syré, S. e Schurz, M. (2013). "Ligamentization" in hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of the literature and a glimpse into the future. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 29(10), 1712–1721.
- PEDro scale (2019). [em linha]. Disponível em: <https://pedro.org.au/english/resources/pedro-scale/> [Acedido em 29 de Novembro de 2021].
- Pincivero, D., Bachmeier, B. e Coelho, A. (2001). The effects of joint angle and reliability on knee proprioception. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(10), 1708–1712.
- Salmon, L., Russell, V., Musgrove, T., Pinczewski, L. e Refshauge, K. (2005). Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 21(8), 948–957.
- Sanders, T., Maradit Kremers, H., Bryan, A., Larson, D., Dahm, D., Levy, B., Stuart, M. e Krych, A. (2016). Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *The American journal of sports medicine*, 44(6), 1502–1507.
- Schelin, L., Pini, A., Markström, J. e Häger, C. (2021). Test-retest reliability of entire time-series data from hip, knee and ankle kinematics and kinetics during one-leg hops for distance: Analyses using integrated pointwise indices. *Journal of biomechanics*, 124, 110546.
- Schmitt, L., Paterno, M., Ford, K., Myer, G. e Hewett, T. (2015). Strength Asymmetry and Landing Mechanics at Return to Sport after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Medicine and science in sports and exercise*, 47(7), 1426–1434.
- Zantop, T., Herbort, M., Raschke, M., Fu, F. e Petersen, W. (2007). The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *The American journal of sports medicine*, 35(2), 223–227.
- Zult, T., Gokeler, A., van Raay, J., Brouwer, R., Zijdwind, I., Farthing, J. e Hortobágyi, T. (2018). Cross-education does not accelerate the rehabilitation of neuromuscular functions after ACL reconstruction: a randomized controlled clinical trial. *European journal of applied physiology*, 118(8), 1609–1623.
- Zult, T., Gokeler, A., van Raay, J., Brouwer, R., Zijdwind, I., Farthing, J. e Hortobágyi, T. (2019). Cross-education does not improve early and late-phase rehabilitation outcomes after ACL reconstruction: a randomized controlled clinical trial. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 27(2), 478–490.