

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Especialização em Fisioterapia Esportiva

Sabrina Oliveira Melo

**APLICABILIDADE DA APRENDIZAGEM DIFERENCIAL NA PREVENÇÃO E
REABILITAÇÃO DE LESÕES DE LCA: uma revisão narrativa**

Belo Horizonte

2024

Sabrina Oliveira Melo

**APLICABILIDADE DA APRENDIZAGEM DIFERENCIAL NA PREVENÇÃO E
REABILITAÇÃO DE LESÕES DE LCA: uma revisão narrativa**

Monografia de especialização apresentada ao Curso de Especialização em Fisioterapia Esportiva da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do diploma de Especialização em Fisioterapia Esportiva.

Orientador: Dr. Vitor Leandro da Silva
Profeta

Belo Horizonte

2024

M528a Melo, Sabrina Oliveira
2024 Aplicabilidade da aprendizagem diferencial na prevenção e reabilitação de lesões de LCA: uma revisão narrativa. [manuscrito] / Sabrina Oliveira Melo – 2024.
34 f.: il.

Orientador: Vitor Leandro da Silva Profeta

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

Bibliografia: f. 28-34

1. Ligamento cruzado anterior – ferimentos e lesões. 2. Joelhos – ferimentos e lesões. 3. Reabilitação. I. Profeta, Vitor Leandro da Silva. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 615.8

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Danilo Francisco de Souza Lage, CRB 6: nº 3132, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESPECIALIZAÇÃO EM AVANÇOS CLÍNICOS EM FISIOTERAPIA

UFMG

FOLHA DE APROVAÇÃO

APLICABILIDADE DA APRENDIZAGEM DIFERENCIAL NA PREVENÇÃO E REABILITAÇÃO DE LESÕES DE LCA: UMA REVISÃO NARRATIVA

SABRINA OLIVEIRA MELO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pela Coordenação do curso de ESPECIALIZAÇÃO EM FISIOTERAPIA, do Departamento de Fisioterapia, área de concentração FISIOTERAPIA ESPORTIVA.

Aprovada em 22/06/2024, pela banca constituída pelos membros: Camila Gomes Miranda e Castor e André Luís Finamore.

Renan Alves Resende

Prof(a). Renan Alves Resende
Coordenador do curso de Especialização em Avanços Clínicos em Fisioterapia

Belo Horizonte, 03 de julho de 2024.

RESUMO

A ruptura do LCA é uma das lesões mais estudadas atualmente na área esportiva, devido à sua incidência relativamente alta (Kay *et. al*, 2017) e suas consequências a curto e longo prazo (Von Porat *et. al*, 2004, Mather *et. al*, 2013, Niederer *et. al*, 2018). Uma particularidade dessa lesão é que na maioria dos casos ela ocorre sem contato ou com contato indireto (Della Villa *et. al*, 2020), o que indica que responderia bem aos programas de prevenção. Apesar de na literatura estarem bem estabelecidos padrões biomecânicos associados à ruptura do LCA, programas de prevenção voltados para mudança desses padrões por meio de aprendizagem motora ainda são pouco estudados. Recentemente com o aumento da aplicação da teoria de sistemas dinâmicos na área de aprendizagem motora, teorias que se pautam em maior variabilidade de movimento têm ganhado força, uma dessas é a Aprendizagem diferencial. Assim, essa revisão sistemática buscou investigar a aplicabilidade da aprendizagem motora na redução de fatores de risco biomecânicos associados à lesões de LCA. A busca foi realizada no portal PubMed em setembro de 2023 e 4 artigos foram incluídos no estudo. Os resultados indicam que a aprendizagem diferencial e o aumento da variabilidade de prática apresenta melhores resultados para reduzir fatores de risco para lesões primárias e secundárias de LCA do que abordagens clássicas baseadas em repetição. OS resultados ainda são escassos, com todos os artigos incluídos sendo publicados nos últimos 5 anos, isso indica a necessidade de mais estudos para confirmar os achados e elucidar possíveis mecanismos.

Palavras-chave: LCA; Aprendizagem Motora; Variabilidade; Aprendizagem Diferencial; Sistemas Dinâmicos; Prevenção; Risco Biomecânico.

ABSTRACT

ACL rupture is one of the most studied injuries currently in the sports , due to its relatively high incidence (Kay et. al, 2017) and its short and long-term consequences (Von Porat et. al, 2004, Mather et. al , 2013, Niederer et. al, 2018). A particularity of this injury is that in most cases it is a noncontact or indirect contact injury (Della Villa et. al, 2020), which suggests that it should respond well to prevention programs. Although biomechanical patterns associated with ACL rupture are well established in literature, prevention programs aimed at changing these patterns through motor learning are still rarely studied. Recently, with the increased use of the Dynamic Systems Theory in the field of motor learning, theories that are based on greater movement variability have gained strength, one of which is Differential Learning. Thus, this systematic review sought to investigate the applicability of motor learning in reducing biomechanical risk factors associated with ACL injuries. The search was carried out on PubMed in September of 2023 and 4 articles were included in the study. The results indicate that differential learning and increased practice variability provide better results for reducing risk factors for primary and secondary ACL injuries than classical repetition-based approaches. The results are still scarce, with all included articles being published in the last 5 years, which indicates the need for more studies to confirm the findings and elucidate possible mechanisms.

Keywords: ACL; Motor Learning; Variability; Differential Learning; Dynamic Systems; Prevention; Biomechanical Risk.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. METODOLOGIA	18
3. RESULTADOS	19
4. DISCUSSÃO	23
5. CONCLUSÃO	27
6. REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

A ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA), é uma das lesões mais estudadas atualmente, principalmente na área esportiva. Ela é a lesão séria mais comum em vários esportes como o basquete, o lacrosse e o futebol americano (Kay *et. al*, 2017). Além de sua incidência relativamente alta, outro motivo para o estudo das lesões de LCA são suas consequências a curto e longo prazo. Essa lesão causa altos custos ao sistema de saúde, tanto devido ao tratamento imediato que muitas vezes inclui cirurgia reconstrutiva e reabilitação de longo prazo, como devido às consequências de longo prazo (Mather *et. al*, 2013). Pacientes que sofreram lesão de LCA apresentam um risco aumentado para o desenvolvimento de osteoartrose de joelho, levando a impactos na qualidade de vida e funcionalidade dos pacientes, além da limitação nas atividades físicas, principalmente de atividades que envolvem giros ou pivôs (Von Porat *et. al*, 2004, Mather *et. al*, 2013). Além disso, ao falarmos especificamente de atletas, há um maior risco de uma nova lesão de LCA além de uma redução significativa no tempo de carreira, podendo levar a aposentadoria precoce (Niederer *et. al*, 2018).

Uma particularidade das rupturas de LCA é que apenas uma minoria delas ocorre com contato direto no joelho. A maior parte das lesões ocorre sem contato ou com contato indireto ou perturbação (Della Villa *et. al*, 2020). Devido a essa característica há muitos estudos investigando os mecanismos específicos de lesão e suas características biomecânicas. Devido à raridade do contato direto há um potencial de prevenção dessas lesões, uma vez que as lesões sem contato muitas vezes estão relacionadas a déficits musculoesqueléticos ou padrões biomecânicos de risco.

Algumas características frequentes das lesões de LCA sem contato já estão bem definidas na literatura. Um padrão muito observado observado é o de rotação externa do pé e contato inicial com o retropé, com menor flexão plantar (Della Villa *et. al*, 2020). Em situações de lesão de LCA há uma menor excursão de movimento de tornozelo, apresentando menor amplitude de dorsiflexão durante o movimento (Boden *et. al*, 2009). Em relação ao joelho, a maioria das lesões apresenta baixos valores de flexão de joelho e um padrão de abdução e colapso em valgo da

articulação (Hewett *et. al*, 2005, Della Villa *et. al*, 2020). Também é visto com frequência um padrão de dominância de joelho (Della Villa *et. al*, 2020). Em relação ao quadril geralmente há uma maior flexão de quadril no contato inicial com menor excursão de movimento nos momentos seguintes (Boden *et. al*, 2009, Della Villa *et. al*, 2020). Também são observados aumento de adução e rotação interna do quadril, colaborando para o padrão de colapso em valgo do joelho (Della Villa *et. al*, 2020). Em relação ao tronco ele geralmente permanece ereto em plano sagital e é comum uma leve inclinação de tronco em direção ao lado ipsilateral da lesão (Della Villa *et. al*, 2020). Em relação à rotação de tronco ainda há controvérsias na literatura, mas o mais comum é uma rotação para o lado contralateral à lesão (Della Villa *et. al*, 2020). Assim, já temos um conhecimento de posturas associadas à risco para o LCA, o que pode ser usado como ponto de partida para o desenvolvimento de programas de prevenção. Um aspecto importante na prevenção de lesões é a identificação de atletas em risco. Hewett *et. al*. (2005) identificou padrões neuromusculares alterados em atletas do sexo feminino que sofreram uma lesão de LCA posteriormente. Essas atletas apresentavam uma maior carga de abdução de joelho e maior valgo dinâmico no membro inferior em tarefas de drop jump. Também há evidências de que a pobre estabilização e controle neuromuscular do tronco aumentam o risco de rupturas de LCA (Zazulak *et. al*, 2007).

Os programas de prevenção mais encontrados na literatura geralmente buscam melhorar valências físicas associadas a maior risco de LCA, assim como evitar ou reduzir padrões biomecânicos associados a maiores tensões no LCA. Assim, a maioria inclui intervenções como fortalecimentos específicos, exercícios de equilíbrio, exercícios de tronco, pliometria e treinamento neuromuscular. Há comprovação da eficácia desses programas na redução de lesões de LCA, Webster *et. al*. (2018) encontrou uma redução de risco de 50% para lesões de LCA e de 67% para lesões de LCA sem contato. Sugimoto *et. al* (2016) investigou quais fatores dos programas preventivos se correlacionam com maior sucesso na prevenção de lesões. Alguns dos fatores encontrados foram a idade da população alvo, havendo mais sucesso em atletas pré-adolescentes ou na adolescência precoce, a dose do treinamento também era importante, sendo proposta uma dosagem de no mínimo 20 minutos com frequência maior que 2 vezes por semana, e também foi detectado que

programas que incluíram maior variação nos exercícios apresentaram resultados superiores.

Também são encontrados na literatura programas que incluem em seus objetivos a mudança de padrões de movimento, estimulando a adoção de padrões em que há menos estresse na articulação do joelho e principalmente no LCA. Essas intervenções geralmente são chamadas de forma geral de “treinamento neuromuscular” e muitas vezes a intervenção não é detalhada nos estudos e os desfechos usados geralmente são o risco ou incidência de lesão e não a biomecânica. Ghaderi *et. al.* (2021) investigou os efeitos de um programa de treinamento neuromuscular utilizando foco externo e encontrou efeitos positivos na mudança de padrão de movimento, com redução dos ângulos de abdução e rotação interna de joelho, redução do momento de extensão de joelho e redução da força de reação do solo vertical, entre outros resultados. Esses achados indicam a viabilidade de alteração do padrão biomecânico de atletas utilizando programas de treinamento, então seria interessante estudarmos formas de potencializar essas intervenções, como por exemplo mudanças na variabilidade de treinamento, nível e tipo de feedback ofertado e uso de diferentes teorias de aprendizagem motora como guias. Esses achados indicam que intervenções com intuito de alterar padrões biomecânicos têm grande potencial e que o uso de alguns conceitos da área de aprendizagem motora, como a utilização de diferentes focos de atenção, pode potencializar os resultados desse tipo de intervenção.

Na literatura científica existem diversas teorias relacionadas ao processo de aprendizagem motora. Nas teorias tradicionais o conceito de repetições de um mesmo padrão movimento são muito prevalentes (Oftadeh *et. al.*, 2021). Esse preceito ainda é muito utilizado atualmente e parte do pressuposto de que existe um padrão de movimento ideal que todo atleta deve buscar e que esse objetivo pode ser alcançado pela repetição em altos números do mesmo movimento, muitas vezes com algum nível de feedback biomecânico, nessas teorias qualquer variação do padrão desejado é considerado ruído, ou seja um erro motor (Apidogo *et. al.*, 2021). Recentemente essas teorias têm sido questionadas com o crescimento da teoria de sistemas dinâmicos, a interpretação de que qualquer desvio de um padrão de

movimento ideal é indesejada passou a ser questionada uma vez que oscilações e variabilidade são característicos desses sistemas.

A teoria de sistemas dinâmicos se originou no campo da matemática e física, mas tem sido aplicada com frequência no estudo de sistemas biológicos. Nos últimos anos seu uso no estudo do movimento humano tem crescido, principalmente nas áreas de aprendizagem motora e coordenação. O termo dinâmico se refere a um fenômeno que apresenta padrões de comportamento que mudam ao longo do tempo e atualmente também é usado para nomear a área da matemática responsável por estudar esses fenômenos (Luenberger *et. al*, 1979). Já os sistemas foram incluídos na teoria quando os pesquisadores reconheceram que só seria possível estudar os fenômenos supracitados se o ambiente em que eles estão inseridos fosse incluído nas análises (Luenberger *et. al*, 1979).

Ao aplicar a teoria de sistemas dinâmicos ao movimento humano, esse passa a ser entendido como uma rede formada por subsistemas interdependentes que, por sua parte, são compostos por componentes que interagem entre si, como explicado por Glazier *et. al*. (2003). Ao utilizar essa teoria, é importante considerar que estamos adentrando o campo da complexidade, inicialmente o movimento humano era estudado de forma linear, ou seja uma pequena alteração nos componentes leva a uma pequena alteração no sistema, ao migrarmos para a análises de complexidade essas relações passam a ser não lineares, assim pequenas alterações nos componentes podem levar a grandes alterações no sistema e vice-versa (Van Emmerik *et. al*, 2016). Outra característica dos sistemas complexos é que uma única mudança em parâmetros de controle pode levar a diversos efeitos no comportamento do sistema, essa propriedade do sistema é chamada de multi-estabilidade (McGarry *et. al*, 2002).

Uma terceira característica dos sistemas é a capacidade de gerar alterações no sistema por meio de manipulação dos parâmetros do sistema, propriedade conhecida como controle paramétrico (McGarry *et. al*, 2002). Essa propriedade é muito importante no campo da aprendizagem motora pois ao aplicarmos a teoria de sistemas dinâmicos no treinamento a forma de treinadores causarem alterações nos padrões de movimento seria manipulando os parâmetros de controle levando à

mudanças no sistema como um todo por meio do controle paramétrico. Isso nos leva à discussão de outra característica importante dos sistemas complexos que é a auto-organização, ou seja, a emergência espontânea de padrões de organização no sistema.

Como exposto por McGarry *et. al.* (2002), no processo de auto-organização vemos algumas fases, primeiramente há um aumento nas flutuações do sistema, geralmente relacionada a uma perturbação sofrida, então há um aumento de variabilidade no sistema como um todo, explorando os padrões disponíveis até chegar a outro padrão, quando a variabilidade retorna a seus valores basais. Esse evento, como explica Hristovski *et. al.* (2006), é chamado de transição de fases e é uma auto-organização espontânea dos graus de liberdade do sistema motor para atingir alguma tarefa específica. É importante enfatizar que nesses sistemas os novos padrões de comportamento não são impostos ou previamente definidos, e sim um resultado da exploração do próprio sistema (Balague *et. al.*, 2013).

Ao falarmos do sistema motor humano no contexto de sistemas dinâmicos é importante mencionarmos os graus de liberdade. O termo graus de liberdade se refere aos componentes independentes que estão disponíveis para realizar uma tarefa específica (Van Emmerik *et. al.*, 2016). No corpo humano existem diversos graus de liberdade, como as diferentes articulações e músculos, o que permite que as tarefas sejam cumpridas de várias maneiras diferentes, explorando diferentes combinações de seus elementos, essa capacidade muitas vezes é chamada de redundância motora. Essa abundância motora torna possível que uma maior variabilidade de padrões biomecânicos seja utilizada sem que haja grandes variações de resultados ou performance.

A variabilidade motora pode ser descrita como variações na performance de movimentos ao realizar várias repetições de uma mesma tarefa (James *et. al.*, 2000). Essa variação pode incluir vários fatores do movimentos como velocidade, força e amplitude do movimento (James *et. al.*, 2000). Outra categorização que é importante de ser considerada ao se discutir variabilidade é a diferença entre variabilidade de desfecho e variabilidade de coordenação. A variabilidade de desfecho se refere a variações no resultado final do movimento, por exemplo a altura de um salto ou a

localização de um chute, enquanto a variabilidade de coordenação se refere a variações nos padrões de movimento utilizados para atingir o desfecho (Van Emmerik *et. al*, 2016). A variabilidade de desfecho pode ser usada como um indicativo de performance, uma vez que grandes variações no resultado final do movimento são indicativos de menor nível de proficiência, já a variabilidade de coordenação não tem a mesma relação com a performance motora (Van Emmerik *et. al*, 2016), essa última é a que será discutida nesse texto. Outro uso da palavra variabilidade é no quesito de parâmetros de treinamento, que também serão discutidos neste estudo.

Com o aumento da utilização da teoria de Sistemas Dinâmicos para interpretação do movimento humano houve uma mudança na interpretação da variabilidade, por muito tempo ela foi vista como algo negativo, sendo visto como um erro ou ruído no sistema (Bartlett *et. al*, 2007). Atualmente, há um entendimento da variabilidade como parte inerente ao movimento humano, tendo o papel funcional de flexibilizar o sistema, aumentando sua capacidade de se adaptar a diferentes circunstâncias (Bartlett *et. al*, 2007). O uso de variabilidade na prática de tarefas motoras está relacionado à ideia de generalização, ou seja, a capacidade do indivíduo de adaptar os movimentos aprendidos para outras circunstâncias (Ranganathan *et. al*, 2010). A introdução de variações no treinamento esportivo sempre foi discutida, mas com essas mudanças de paradigmas tem se tornado mais importante. Teorias ecológicas, mais utilizadas recentemente, colocam muita ênfase na relação entre sujeito, tarefa e ambiente, como todos esses fatores são altamente mutáveis na maioria dos cenários esportivos atualmente é aceito que atletas de alta habilidade são capazes de transitar por diferentes soluções motoras, selecionando a opção mais adequada para cada tarefa e ambiente, mantendo a eficiência e performance mesmo quando as circunstâncias mudam (Seifert *et. al*, 2012).

Como discutido anteriormente, a ideia de um padrão de movimento ideal que deve ser almejado por todos atleta tem sido muito questionada, devido a estudos indicando a inexistência de um padrão biomecânico comum entre diferentes atletas de alta performance e também a ocorrência de variações de movimento de um mesmo atleta em ocasiões distintas (Bartlett *et. al*, 2007). Com isso, a inclusão de variabilidade no treinamento motor se torna mais atraente, com o intuito de incentivar

uma exploração de um grande número de soluções motoras, para que o atleta possa identificar o padrão mais vantajoso para sua individualidade e também para aumentar sua flexibilidade, permitindo manutenção de performance em diferentes circunstâncias (Bartlett *et. al*, 2007). Uma hipótese proposta para explicar como o uso de variabilidade na prática de uma habilidade melhora a generalização da performance é que o uso de diferentes variações permite ao atleta explorar as consequências de diferentes combinações biomecânicas, fazendo com que ele tenha maior capacidade de selecionar a variação mais adequada para cada situação (Dhawale *et. al*, 2017). Essa exploração também permite ao atleta descobrir variações biomecânicas que não causam grande variabilidade de desfecho, fazendo com que ele não precise manter exatamente o mesmo padrão em todas as repetições do movimento, alternando assim os tecidos estressados, reduzindo o risco de lesões por overuse, ao evitar sobrecarga repetitiva das mesmas estruturas permitindo também maiores chances de adaptação tecidual devido ao maior intervalo entre estímulos (James *et. al*, 2000).

Um sistema que seja excessivamente estável teria dificuldade para se adaptar a mudanças em seu ambiente ou objetivos (Van Emmerik *et. al*, 2016). Assim é importante que haja equilíbrio entre estabilidade e variabilidade nos padrões do sistema. Na teoria de sistema dinâmico isso é explicado por meio de atratores. Ao explorar os graus de liberdade disponíveis o sistema será levado a um atrator, um padrão de movimento com variabilidade basal reduzida em que o sistema se encontra organizado com padrões de movimento consistentes para suas tarefas, porém existem diversos atratores disponíveis para o sistema (Glazier *et. al*, 2003). Assim, quando o sistema é perturbado sua variabilidade aumenta para explorar novamente os graus de liberdade e encontrar um novo atrator que atenda a nova situação. A possibilidade de variação entre diferentes atratores é o que torna o ser humano capaz de se adaptar a diferentes situações, incentivando a busca por diferentes soluções motoras estáveis.

O conceito de sistemas complexos também já está presente na discussão de lesões esportivas na literatura científica. Bittencourt *et. al*. (2016) propôs um novo modelo do processo causal de lesões, anteriormente a lesão era vista como um processo simples em que certos fatores de risco levavam à lesão, com a mudança

de paradigma surgiu o conceito de uma rede de determinantes em que diversos fatores interagem entre si de forma complexa levando a diferentes desfechos, entre eles a lesão. Assim, um mesmo fator de risco pode levar a diferentes resultados dependendo de outros determinantes interagindo e modulando esse fator de risco. Logo, o processo de prevenção de lesões e de reabilitação se torna mais complicado pois não há mais uma solução única para prevenir uma lesão ou para retornar um atleta ao esporte, a rede de determinantes de cada atleta deve ser investigada para determinar quais fatores têm maior influência e criar uma intervenção individualizada. Esse conceito funciona em harmonia com a teoria de sistemas dinâmicos no movimento humano, como cada atleta tem diferentes fatores interagindo entre si e influenciando sua prática esportiva e suas capacidades físicas, o padrão de movimento também será único para cada atleta e variável dependendo das circunstâncias encontradas.

Com o aumento das discussões sobre o papel da variabilidade no movimento humano e também dos questionamentos quanto à existência de um padrão ideal de movimento para cada gestual esportivo, as teorias de aprendizagem motora clássicas começam a se tornar inadequadas, por se basearem em grande volume de repetições com o mínimo de variações possíveis. Com isso passam a surgir novas teorias que incorporam a ideia de variabilidade, adaptação e individualidade. No final da década de 1990, Wolfgang Schollhorn, um pesquisador alemão com trabalhos nas áreas de aprendizagem motora e biomecânica, começou a realizar esses questionamentos e desenvolveu sua própria teoria de aprendizagem motora, que recebeu o nome de aprendizagem diferencial. Como descrito em Schollhorn (1999), a aprendizagem diferencial considera que não há um padrão ideal de movimento e que o processo de aprendizagem motora deve envolver o atleta explorando as possibilidades motoras existentes e que por meio dessa exploração a solução ideal para aquele atleta seria descoberta e auto-selecionada pelo atleta. Em sua interpretação original na aprendizagem diferencial um mesmo padrão de movimento nunca será repetido e não devem ser feitas correções ao atleta, ou seja, não deve ser dado nenhum feedback biomecânico para o atleta, a ideia é permitir um processo livre de auto-organização do movimento, como discutido na Teoria de Sistemas Dinâmicos (Schollhorn *et. al*, 2022). A ideia original, como discutido por Schollhorn

et. al. (2022) era utilizar as variações como formas de perturbações estocásticas, ampliando os sinais motores e facilitando o processo de aprendizagem. Assim, utilizando um maior número de padrões de movimento, o atleta irá explorar todas as soluções motoras disponíveis e selecionar a mais vantajosa para seu organismo em cada situação apresentada (Haggerty *et. al.*, 2020).

Os mecanismos de atuação da Aprendizagem Diferencial ainda não são bem compreendidos, mas já existem numerosos estudos comprovando sua efetividade no treinamento de diversas tarefas como o saque no voleibol (Apidogo *et. al.*, 2021), chute a gol no futsal (Oftadeh *et. al.*, 2021) e no golfe (Valença *et. al.*, 2022), em todos esses estudos foram detectadas diferenças significativas na performance esportiva quando comparado à abordagens tradicionais, com maior número de acertos, menos erros e maior transferência de habilidades.. Uma área ainda pouco abordada na literatura é a aplicabilidade da Aprendizagem Diferencial na reabilitação e prevenção de lesões musculoesqueléticas. Nessa teoria a variabilidade biomecânica é considerada intrínseca ao movimento humano, sendo essencial para o indivíduo se adaptar a diferentes situações, assim, deveríamos aumentar as variações, levando a uma transição de fase, gerando um novo padrão de movimento mais favorável por meio do processo de auto-organização (Schollhorn; Beckmann & Davids, 2010).

Outro ponto de suporte da teoria de Aprendizagem Diferencial é a redundância que pode ser observada no sistema de movimento humano, devido ao grande número de graus de liberdade presentes no corpo, existem diversas combinações de movimento que levam ao mesmo resultado final (Schollhorn *et. al.*, 2009). A existência de diversas formas de alcançar um mesmo resultado final coloca em xeque a noção de um padrão de movimento ideal a ser buscado por todos. Essa variabilidade também tem sido discutida na literatura como uma estratégia que o corpo adota para reduzir o risco de lesões por overuse, a lógica seria que com as variações inerentes ao sistema, os tecidos estressados mudariam a cada repetição, evitando com que alguma estrutura específica fique sobrecarregada, o mesmo raciocínio pode ser usado para argumentar contra o uso excessivo de repetições de um mesmo movimento, principalmente quando a variabilidade é desencorajada (Schollhorn; Beckmann & Davids, 2010).

Tassignon *et. al.* (2021) realizou uma meta-análise investigando as evidências disponíveis em relação ao uso da aprendizagem diferencial como um método melhorado de aprendizagem motora. O estudo encontrou evidências de que a Aprendizagem Diferencial é superior a teorias clássicas nas fases de aquisição e retenção de habilidades motoras porém os estudos apresentam baixo número amostral e alta heterogeneidade nos resultados, fazendo com que não seja possível fazer uma recomendação forte, devido à baixa qualidade da evidência. Os autores discutem que a variabilidade de prática inerente à aprendizagem diferencial pode explicar os melhores resultados, pois permite ao atleta explorar um grande número de soluções motoras e reter as mais eficientes para uso na prática da habilidade. O estudo também enfatiza a importância de se considerar a individualidade de cada atleta no treinamento e reabilitação para que o processo seja mais eficiente, isso está de acordo com o processo de aprendizagem diferencial em que não há um padrão ouro que todo atleta deve atingir e sim uma tentativa de encontrar a melhor solução para aquele atleta em cada circunstância.

Outro aspecto discutido na literatura é que o fato de não haver um padrão almejado ou feedback corretivo na aprendizagem diferencial o atleta terá maior propensão a tentar utilizar estratégias menos convencionais ou de maior complexidade técnica. Gaspar *et. al.* (2019) traz essa discussão em sua análise da utilização dessa teoria de treinamento no chute de futebol, que aumentou o percentual de tentativas dos atletas de realizar chutes nas áreas alvo de maior dificuldade e complexidade técnica. Valença *et. al.* (2022) segue um raciocínio similar ao recomendar a utilização da aprendizagem diferencial em atletas com maior expertise, para melhorar sua adaptabilidade, levando a maior resiliência de performance.

Assim, ao utilizarmos as evidências mais atuais há fortes indícios de que a variabilidade é uma parte integral da performance do movimento humano, nos tornando mais adaptáveis em um sistema que é necessariamente variável fazendo com que a performance seja mais resiliente. Também podemos chegar a conclusão que um maior número de variações na prática de um movimento é essencial para o processo de auto-organização, levando o atleta a adotar um padrão de movimento mais eficiente e com menos risco para sua individualidade. Logo, ao criarmos

programas de prevenção ou reabilitação de lesões com o objetivo de alterar padrões biomecânicos seria benéfico utilizar teorias que potencializem a variabilidade de prática. A aprendizagem diferencial é a teoria que apresenta maior variabilidade entre as existentes atualmente, muitas vezes usando o preceito de “repetições sem repetições” em que um mesmo padrão nunca é repetido em uma mesma sessão de treinamento, assim ela teria grande potencial para ser usada nos cenários de treinamento motor com objetivo de estimular a mudança de um estado atrator para outro por meio do processo de auto-organização.

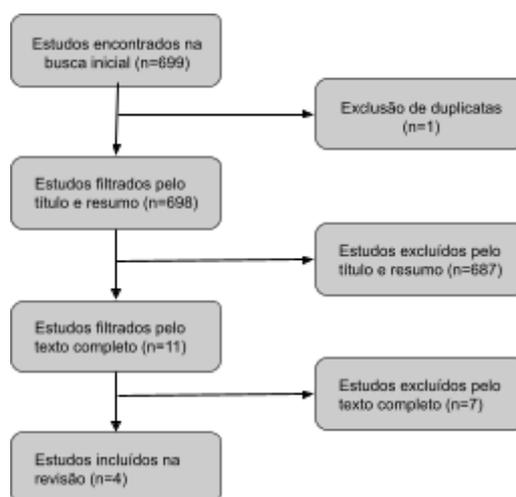
2. METODOLOGIA

Foi realizada uma busca na literatura buscando estudos que investigassem a utilização de Aprendizagem Diferencial na prevenção ou reabilitação de lesões de LCA. A busca foi realizada no banco de dados da PubMed no mês de setembro de 2023 e incluiu artigos publicados nos 10 anos anteriores à data da busca. Os termos de busca usados foram: “((Differential training) OR (Differential learning) OR (Variability)) AND ((Rehabilitation) OR (Prevention) OR (risk factors)) AND (Injury) AND (ACL)”

Os critérios para inclusão no estudo foram 1) Estudos na língua inglesa ou portuguesa 2) Incluir comparação entre um grupo de aprendizagem diferencial e grupo controle ou de outro tipo de treinamento neuromuscular 3) Incluir desfechos de variáveis biomecânica. Os critérios de exclusão foram: 1) Estudos não experimentais 2) Características da intervenção não explicitadas. A seleção dos artigos foi realizada por 1 pesquisador utilizando o gerenciador de referências Mendeley durante o mês de setembro de 2023.

3. RESULTADOS

Na busca da literatura científica foram encontrados apenas 4 estudos explorando a utilização da aprendizagem diferencial na reabilitação ou prevenção de lesões de LCA. Os estudos encontrados tinham números amostrais relativamente pequenos e muitas vezes incluíam apenas atletas do sexo masculino. Isso dificulta a generalização dos resultados, uma vez que o sexo feminino apresenta maior risco para esse tipo de lesão. 2 dos estudos encontrados compararam a aprendizagem diferencial com um grupo controle e os outros 2 a compararam com métodos de aprendizagem tradicionais. Além disso, todos os estudos também incluíram outros tipos de intervenção como a metodologia não-linear, foco externo, treinamento visuo-motor e feedback auto-controlado.



Todos os estudos incluídos encontraram superioridade significativa da aprendizagem diferencial quando comparada ao grupo controle ou a método de treinamento convencionais. Gholami *et. al.* (2023) encontrou resultados que indicam que tanto a aprendizagem diferencial quanto o treinamento visuo-motor levaram a melhora de performance funcional, equilíbrio e cinesiofobia em pacientes após reconstrução de LCA além de uma melhora significativa em fatores de risco biomecânicas em tarefa de aterrissagem unilateral. Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos, mas o grupo de aprendizagem diferencial apresentou performance funcional ainda melhor que o treinamento visuo-motor, tendo um maior tamanho de efeito (1,15 contra 0,90 do treinamento visuo-motor). Já Ghanati *et. al.* (2022) comparou a aprendizagem diferencial com foco externo de atenção, feedback auto-selecionado e

grupo controle. O estudo encontrou que tanto a aprendizagem diferencial quanto o foco externo levaram a melhora significativa nos fatores de risco cinéticos e cinemáticos em um drop-jump unilateral, o que não aconteceu nos grupos controle e feedback auto-selecionado. Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos de aprendizagem diferencial e foco externo, porém o grupo de aprendizagem diferencial apresentou melhora em um parâmetro a mais que o de foco externo, o que fez com que os autores acreditem que esse método apresenta o maior potencial na prevenção de lesão.

Tanto Orangi *et. al* (2021) e Orangi *et. al* (2023) compararam a aprendizagem diferencial com método linear e método não linear na prevenção de lesão, sendo que o primeiro estudo teve duração menor (12 semanas contra 5 meses) e utilizou principiantes enquanto o estudo de 2023 utilizou atletas universitários. Ambos estudos encontraram superioridade da aprendizagem diferencial e do método não linear sobre a metodologia linear. No estudo de 2021, o grupo não-linear foi superior ao de aprendizagem diferencial na maioria das variáveis cinemáticas, mas não houve diferença significativa no momento de dorsiflexão, momento de extensão/flexão de joelho, momento de valgo de joelho e força de reação de solo vertical, indicando uma vantagem no método não linear sobre a aprendizagem diferencial. Esse resultado se confirmou no estudo de 2023, em que houve superioridade significativa do método não linear sobre a aprendizagem diferencial em todas as variáveis exceto a o momento de valgo de joelho. Nesse estudo também foi encontrada superioridade significativa desses dois métodos sobre a metodologia linear.

Autor e ano de publicação	População	Grupos/intervenções	Desfechos
Orangi <i>et. al.</i> ; 2021	66 participantes universitários homens, iniciantes no futebol, sem histórico de lesão de LCA e que não estivessem no curso de	12 semanas de treinamento consistindo de 3 sessões semanais de 1h30min de duração Grupo Linear (LP) (n=22) - instrutor explicava e demonstrava a habilidade a ser praticada e dá feedback toda vez que um atleta desvia do padrão instruído.	Variáveis cinéticas e cinemáticas em tarefa de sidestep cutting. As variáveis investigadas foram: ângulo de flexão de tronco, ângulo de flexão de quadril, ângulo de flexão de joelho, ângulo de valgo de joelho, ângulo de dorsiflexão, amplitude de movimento de quadril, amplitude de movimento de joelho, amplitude de movimento de tornozelo, pico de flexão de quadril, pico de flexão

Autor e ano de publicação	População	Grupos/intervenções	Desfechos
	educação física	<p>Mudança do exercício foi feita baseada na média de progresso do grupo</p> <p>Grupo Não Linear (NLP) (n=22) - Não foram dadas instruções quanto ao padrão de movimento, o instrutor só definia o objetivo da tarefa e manipulava o ambiente para direcionar as variações</p> <p>Grupo Diferencial (DL) (n=22) - cada repetição da prática utilizava um padrão diferente prescrito pelo instrutor</p>	<p>de joelho, pico de força de reação do solo vertical, pico de momento de flexão/extensão de joelho, momento de valgo de joelho e momento de dorsiflexão.</p> <p>Conclusão dos autores: os grupos NLP e DL apresentaram maior aumento de flexão de joelho e maior redução da força de reação de solo vertical que o grupo LP, indicando maior potencial para a prevenção de lesões de LCA. O estudo também sugere que o grupo NLP é superior ao grupo DL devido apresentando superioridade significativa, na maioria das variáveis cinemáticas, porém sem diferença no momento de dorsiflexão, momento de extensão/flexão de joelho, momento de valgo de joelho e força de reação de solo vertical.</p>
Ghanati <i>et. al.</i> ; 2022	<p>42 atletas completaram o estudo (16 handebol, 14 vôlei e 12 basquete)</p> <p>Perda amostral de 6 atletas.</p> <p>Critérios de inclusão: valgo dinâmico de joelho > 10°, sem histórico de lesão de tronco ou membro inferior nos últimos 6 meses, 20 a 25 anos de idade, IMC de 18,5-25 kg/m</p>	<p>8 semanas de intervenção utilizando os seguintes exercícios: agachamento bipodal, avanços, agachamento unipodal, drop jumps bipodais, equilíbrio unipodal em superfície instável, saltos horizontais bipodais e unipodais, saltos contra-movimento unipodais</p> <p>Controle (CG) (n=11) - Manteve seu treinamento habitual</p> <p>Feedback Auto-Controlado (SF) (n=10) - O atleta recebia feedback quando solicitava e os exercícios eram realizados em ordem auto-selecionada.</p> <p>Foco de Atenção Externo (EF) (n=11) - Foram utilizados feedbacks e alvos de movimento com foco externo ao corpo do atleta.</p> <p>Aprendizagem Diferencial (DL) (n=10) - As categorias centrais dos exercícios foram mantidas porém com variações a cada repetição, incluindo mudanças no padrão e no ambiente. Não foi dado qualquer feedback aos participantes.</p>	<p>Variáveis cinéticas e cinemáticas em drop jump unipodal na perna dominante. As variáveis investigadas foram: pico de dorsiflexão, pico de flexão de joelho, pico de flexão de quadril, pico de abdução de joelho, pico de força de reação de solo vertical, pico de força de reação do solo posterior, pico de momento de abdução de quadril, pico de momento de rotação externa de quadril e pico de momento de abdução de joelho.</p> <p>Conclusão dos autores: Os grupos DL e EF apresentaram mudanças significativas nos fatores de risco cinéticos e cinemáticos para lesão de LCA, sendo que o grupo DL parece levar a performances ainda melhores.</p>
Gholami <i>et.</i>	45 atletas de	A intervenção consistiu de 8	Triple Hop Test, Star Excursion Balance

Autor e ano de publicação	População	Grupos/intervenções	Desfechos
al.; 2023	handebol, basquete e vôlei do sexo masculino 6-12 meses após reconstrução de LCA primária usando enxerto de tendão de flexores e liberados para atividades funcionais	semanas, com os grupos de intervenção participando de 3 sessões semanais de 25 a 30 minutos Controle (n=15) - Mantiveram seu treinamento habitual Aprendizagem Diferencial (DL) (n=15) - Exercícios foram realizados com variação dos padrões de movimento e do ambiente, aumentando a variabilidade. Treinamento Visuo-Motor (VMT) (n=15) - Realização de exercícios de saltos, agilidade e equilíbrio utilizando óculos estroboscópicos	Test (SEBT), cinesiofobia (Escala Tampa de cinesiofobia), variáveis biomecânicas de uma aterrissagem unipodal. As variáveis biomecânicas investigadas foram: flexão de quadril, flexão de joelho, dorsiflexão, valgo de joelho e força de reação do solo vertical. Conclusão dos autores: Os grupos DL e VMT apresentaram maior melhora de performance no triple hop test e no SEBT e maior redução de cinesiofobia. Os dois grupos de intervenção também apresentaram maior melhora das variáveis biomecânicas na aterrissagem, apresentando maior potencial para a prevenção de lesões secundárias de LCA.
Orangi et. al.; 2023	60 atletas universitários de basquete completaram o estudo (30 homens e 30 mulheres), perda amostral de 27 participantes, principalmente devido a infecção ou contato próximo de COVID-19. Critérios de inclusão: ser atleta de time de basquete universitário, não ter problemas de saúde física ou mental, não ter histórico de lesão de LCA	60 sessões ao longo de 5 meses. 3 sessões semanais de 1h30min incluindo 15 minutos de aquecimento, 45 minutos de treino e 30 minutos de jogos e desaquecimento Grupo Linear (LP) (n=20 - 10 homens e 10 mulheres) - instrutor explica e demonstra a habilidade a ser praticada e dá feedback toda vez que um atleta desvia do padrão instruído. Mudança do exercício foi feita baseada na média de progresso do grupo Grupo Não Linear (NLP) (n=20 - 10 homens e 10 mulheres) - Não foram dadas instruções quanto ao padrão de movimento, o instrutor só definia o objetivo da tarefa e manipulava o ambiente para direcionar as variações Grupo Diferencial (DL) (n=20 - 10 homens e 10 mulheres) - cada repetição da prática utilizava um padrão diferente prescrito pelo instrutor	Variáveis cinéticas e cinemáticas em tarefa de mudança de direção. As variáveis investigadas foram: ângulo de flexão de tronco, ângulo de flexão de quadril, ângulo de flexão de joelho, ângulo de valgo de joelho, ângulo de dorsiflexão, amplitude de movimento de quadril, amplitude de movimento de joelho, amplitude de movimento de tornozelo, pico de força de reação do solo vertical, pico de momento de flexão/extensão de joelho, momento de valgo de joelho e momento de dorsiflexão. Conclusão dos autores: os grupos NLP e DL foram superiores ao grupo LP em todas as variáveis e o grupo NLP foi superior ao grupo DL em todas as variáveis exceto no momento de valgo de joelho. Não houve diferença significativa da resposta de homens e mulheres em nenhuma das intervenções.

4. DISCUSSÃO

Os resultados do estudo comprovam a hipótese inicial que a aprendizagem diferencial tem potencial de reduzir os riscos de lesão primária e secundária de LCA ao atuar sobre os fatores de risco biomecânicos associados a essa lesão. Porém as referências ainda são escassas, havendo um pequeno número de estudos, com baixo número amostral. Todos os estudos encontrados foram publicados nos últimos 5 anos, o que indica que o interesse científico no assunto é recente, então espera-se que mais publicações ocorram nos próximos anos.

Todos os estudos incluídos descreveram claramente as intervenções aplicadas a cada grupo e as diferenças entre a abordagem de diferentes grupos. Todos os grupos que foram caracterizados com aprendizagem diferencial incluíram os preceitos principais da teoria, como descritos em Schollhorn (2009), sendo aumento drástico da variabilidade de prática e a retirada de feedback corretivo, uma vez que estamos partindo do pressuposto de que não há um padrão ideal que será alvo do treinamento. Os estudos unanimemente encontraram resultados positivos da aprendizagem diferencial na prevenção de lesão de LCA primária ou secundária. O efeito das intervenções é investigado principalmente na redução de padrões biomecânicos de risco. Alguns dos efeitos encontrados foram, aumento do arco de movimento das articulações do membro inferior, com maior flexão de joelho e quadril e maior dorsiflexão, essas mudanças tiram os atletas do padrão de dominância de joelho muito associado à lesões de LCA (Della Villa *et. al.*, 2020) ao distribuir o movimento por todas as articulações do membro inferior. Além disso, esse padrão de maior amplitude de movimento é associado a uma melhor absorção de impacto, como discutido por Boden *et. al.* (2009), o que é confirmado pela redução da força de reação de solo vertical, resultado também encontrado nesses estudos. Essa redução das forças de reação do solo verticais reduzem a energia transmitida para o joelho, levando à maior proteção dessa articulação.

Outro aspecto importante é a angulação e o momento de valgo de joelho, ou ângulo frontal de joelho. O colapso medial do joelho é uma postura muito relacionada com as lesões de LCA, como descrito por Della Villa *et. al.* (2020) e Krosshaug *et. al.* (2007), isso ocorre devido ao grande tensionamento que essa

posição aplica ao LCA em atividades funcionais. Além disso, Hewett *et. al.* (2005), determinou que atletas que apresentavam maiores ângulos e momentos de valgo de joelho tinham risco aumentado para lesão de LCA, sendo que essas duas variáveis foram as principais preditoras de risco de lesão de LCA. Todos os estudos incluídos demonstraram que a aprendizagem diferencial foi mais eficiente que métodos tradicionais para a redução tanto do ângulo quanto do momento de valgo de joelho. Assim, interpretados em conjunto, os dados indicam que a aprendizagem diferencial é melhor que métodos tradicionais para reduzir fatores de risco biomecânicos para lesão de LCA, a conclusão lógica seria de que essa teoria então teria maior eficácia na prevenção desse tipo de lesão, porém seria importante realizar investigações longitudinais analisando a incidência de lesões de LCA em grupos que realizaram programas preventivos com aprendizagem diferencial e comparando com grupos que utilizaram programas tradicionais.

Os estudos indicam que a aprendizagem diferencial tem potencial para utilização na reabilitação e prevenção de lesões de LCA por meio de mudanças nos fatores de risco biomecânicos dessa lesão. Como discutido anteriormente, o mecanismo para essa melhora provavelmente está relacionado com o aumento da variabilidade, como explorado por Dhawale *et. al.* (2017), ao ser exposto a diversos padrões de movimento o atleta pode explorar as diferentes possibilidades coordenativas e suas consequências. Essa exploração estimula o sistema a sair do estado atrator em que se encontra e passar para outro padrão coordenativo que seja mais eficiente para seus objetivos. Isso ocorre por meio do processo de auto-organização, como descrito por Davids *et. al.* (2003), em que um sistema dinâmico encontra um padrão de organização mais benéfico a partir da situação de seus componentes. Os estudos de Orangi *et. al.* (2021) e Orangi *et. al.* (2023) trazem também a discussão sobre os resultados de diferentes tipos de variabilidade, ao comparar dois métodos que aumentam a variabilidade, a aprendizagem diferencial e a metodologia não-linear. Na metodologia não linear a variabilidade de movimento não foi prescrita, e sim estimulada por meio de mudanças no ambiente, e esse método apresentou resultados ainda melhores que a aprendizagem diferencial. Os autores sugerem que devido à natureza não prescritiva das variações, os atletas tiveram liberdade de explorar livremente diversas possibilidades e investigar como elas afetam o desfecho do movimento, aumentando sua capacidade de se adaptar a

diferentes circunstâncias e levando a padrões de movimento menos lesivos e mais eficientes. Assim, surge a hipótese que a variabilidade já potencializa a aprendizagem motora mas que caso essa variabilidade seja dada como uma forma de livre exploração do repertório motor, os resultados são ainda superiores por estimularem o atleta a desenvolver a capacidade de buscar independentemente soluções para os desafios coordenativos, sem depender de uma prescrição externa.

O aumento de variabilidade no treino aparenta trazer também para o atleta maior adaptabilidade. Isso é, por ter experimentado diversos padrões de movimento, o atleta é capaz de selecionar uma opção coordenativa mais adequada dependendo do objetivo da tarefa e dos fatores internos e externos influenciando a tarefa. Como discutido por Bartlett *et. al.* (2007) isso faz com que o atleta tenha maior capacidade de se adaptar a mudanças ambientais sem aumentar seu risco de lesão ou perder desempenho. Van Emmerik *et. al.* também aborda esse aspecto, ao discutir que sistemas muito rígidos têm dificuldade de transitar entre atratores para encontrar o mais adequado para as novas circunstâncias, o aumento da variabilidade tem o papel de desestabilizar o padrão, estimulando a transição de fases atratoras e encontrando novos padrões biomecânicos para alcançar os objetivos.

Ao analisar os achados encontrados na busca da literatura um aspecto que chamou a atenção foram as diferentes interpretações e implementações da aprendizagem diferencial, Gholami *et. al.* (2023) e Ghanati *et. al.* (2022) definiram a intervenção de aprendizagem diferencial como um método de alta variabilidade em que à cada repetição eram feitas mudanças no padrão de movimento, tanto por orientação do instrutor quanto por modificações do ambiente e objetivo. Outro aspecto utilizado nesses estudos foi a ausência de feedback corretivo. Já nos estudos de Orangi *et. al.* (2021) e Orangi *et. al.* (2023) na intervenção de aprendizagem diferencial cada repetição do exercício usava um padrão diferente definido pelo comando do instrutor e sem feedback corretivo, porém não incluía alterações de ambiente e objetivo. Esse problema de definição do método pode ser rastreado até a origem da teoria, o próprio criador da aprendizagem diferencial não descreve em detalhes como ela deve ser aplicada. Por exemplo em Schollhorn *et. al.* (2006), a aprendizagem diferencial é descrita como uma técnica que deve aumentar o ruído na prática para estimular a auto-organização, já em Schollhorn *et. al.* (2022)

ele menciona o uso de perturbações estocásticas que são definidas qualquer variação aleatória de elementos do movimento, podendo ter origem tanto interna quanto externa. Assim, percebemos que na literatura as únicas definições dadas pelo criador ao método de aprendizagem diferencial são o aumento ao máximo da variabilidade da prática e a ausência de feedback corretivo. A ausência de uma definição firme da intervenção se torna problemática pois temos diferentes estudos utilizando diferentes interpretações da metodologia, o que dificulta a comparação de diferentes estudos e a evolução para um consenso sobre a eficácia do método em diversas situações. Isso pode ser visto no presente estudo, em que Gholami *et. al.* (2023) e Ghanati *et. al.* (2022) utilizaram uma definição de aprendizagem diferencial que se aproxima da exposta em Schollhorn *et. al.* (2022), onde as variações apresentam origem interna e externa o que se afasta da definição usada por Orangi *et. al.* (2021) e Orangi *et. al.* (2023) e se aproxima à intervenção que esses estudos chamaram de metodologia não-linear.

5. CONCLUSÃO

Os achados deste estudo demonstram que a aprendizagem diferencial e aumento da variabilidade de prática levam à melhores resultados na redução de fatores de risco biomecânicos para a lesão de LCA, porém os estudos ainda são escassos e com baixo número amostral, indicando a necessidade de mais estudos nessa área. Os efeitos positivos da variabilidade ficaram claros nos estudos, mas ainda não está claro qual teoria de aprendizagem motora é a melhor, apenas que a redução de feedback corretivo e aumento da variabilidade levam a melhores resultados. Também é importante que sejam feitos estudos longitudinais analisando a incidência de lesões após a utilização de prevenção com aprendizagem diferencial, para determinar se essa redução de fatores de risco realmente resultará em um menor número de lesões.

REFERÊNCIAS

1. APIDOGO, Julius B. *et al.* Repetition without Repetition or Differential Learning of Multiple Techniques in Volleyball? **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 18, n. 19, p. 10499, 6 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph181910499>.
2. APOLINÁRIO-SOUZA, Tércio *et al.* The effect of context variability on motor learning. **Human Movement Science**, [S.L.], v. 77, p. 102794, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2021.102794>.
3. BALAGUE, Natàlia *et al.* Overview of complex systems in sport. **Journal Of Systems Science And Complexity**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 4-13, fev. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11424-013-2285-0>.
4. BARTLETT, Roger *et al.* Is movement variability important for sports biomechanists? **Sports Biomechanics**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 224-243, maio 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14763140701322994>.
5. BERGMANN, Fynn *et al.* Perceptual-Motor and Perceptual-Cognitive Skill Acquisition in Soccer: a systematic review on the influence of practice design and coaching behavior. **Frontiers In Psychology**, [S.L.], v. 12, p. 1-26, 2 dez. 2021. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2021.772201>.
6. BITTENCOURT, N F N *et al.* Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition: narrative review and new concept. **British Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 50, n. 21, p. 1309-1314, 21 jul. 2016. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095850>.
7. BODEN, Barry P. *et al.* Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injury. **The American Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 37, n. 2, p. 252-259, fev. 2009. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546508328107>.
8. CHOW, Jia Yi *et al.* Nonlinear pedagogy: learning design for self-organizing neurobiological systems. **New Ideas In Psychology**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 189-200, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.newideapsych.2010.10.001>.
9. DAVIDS, Keith *et al.* An Ecological Dynamics Approach to Skill Acquisition: Implications for Development of Talent in Sport. **Talent Development & Excellence**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 21-34, maio 2013.
10. DAVIDS, Keith *et al.* Movement Systems as Dynamical Systems. **Sports Medicine**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 245-260, 2003. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200333040-00001>.

11. DELLA VILLA, Francesco *et al.* Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. **British Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 54, n. 23, p. 1423-1432, 19 jun. 2020. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2019-101247>.
12. DHAWALE, Ashesh K. *et al.* The Role of Variability in Motor Learning. **Annual Review Of Neuroscience**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 479-498, 25 jul. 2017. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-neuro-072116-031548>.
13. GASPAR, Alex *et al.* Acute effects of differential learning on football kicking performance and in countermovement jump. **Plos One**, [S.L.], v. 14, n. 10, p. 1, 23 out. 2019. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0224280>.
14. GHADERI, Mohamad *et al.* Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. **Bmc Sports Science, Medicine And Rehabilitation**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 1-11, 8 maio 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13102-021-00275-3>.
15. GHANATI, Hadi Abbaszadeh *et al.* Comparing the Effects of Differential Learning, Self-Controlled Feedback, and External Focus of Attention Training on Biomechanical Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament (ACL) in Athletes: a randomized controlled trial. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 19, n. 16, p. 10052, 15 ago. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph191610052>.
16. GHOLAMI, Fatemeh *et al.* Comparing the Effects of Differential and Visuo-Motor Training on Functional Performance, Biomechanical, and Psychological Factors in Athletes after ACL Reconstruction: a randomized controlled trial. **Journal Of Clinical Medicine**, [S.L.], v. 12, n. 8, p. 2845, 13 abr. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/jcm12082845>.
17. GLAZIER, Paul S. *et al.* DYNAMICAL SYSTEMS THEORY: a Relevant Framework for Performance-Oriented Sports Biomechanics Research. **Sports Science**, [s. /], v. 2003, n. 7, p. 1-8, jan. 2003
18. GOKELER, Alli *et al.* Anterior cruciate ligament injury mechanisms through a neurocognition lens: implications for injury screening. **Bmj Open Sport & Exercise Medicine**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 1-4, maio 2021. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001091>.
19. GOKELER, Alli *et al.* Shaping the Functional Task Environment in Sports Injury Rehabilitation: a framework to integrate perceptual-cognitive training in rehabilitation. **Athletic Training & Sports Health Care**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 283-292, nov. 2020. SLACK, Inc.. <http://dx.doi.org/10.3928/19425864-20201016-01>.

20. HAGGERTY, Adam L. *et al.* Clinical Applications of Motor Learning Strategies. **Athletic Training & Sports Health Care**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 198-200, set. 2020. SLACK, Inc.. <http://dx.doi.org/10.3928/19425864-20200512-01>.
21. HARTIGH, Ruud J. R. Den *et al.* The Relation Between Complexity and Resilient Motor Performance and the Effects of Differential Learning. **Frontiers In Human Neuroscience**, [S.L.], v. 15, p. 1-10, 12 ago. 2021. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2021.715375>.
22. HENZ, Diana; SCHÖLLHORN, Wolfgang I.. Differential Training Facilitates Early Consolidation in Motor Learning. **Frontiers In Behavioral Neuroscience**, [S.L.], v. 10, p. 1-9, 21 out. 2016. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00199>.
23. HEWETT, Timothy E. *et al.* Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes: a prospective study. **The American Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 492-501, abr. 2005. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546504269591>.
24. HEWETT, Timothy E. *et al.* Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: cut risk with three sharpened and validated tools. **Journal Of Orthopaedic Research**, [S.L.], v. 34, n. 11, p. 1843-1855, 19 set. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jor.23414>.
25. HRISTOVSKI, Robert *et al.* How Boxers Decide to Punch a Target: Emergent Behaviour in Nonlinear Dynamical Movement Systems. **Journal Of Sports Science And Medicine**, [s. l.], p. 60-73, jul. 2006.
26. JAMES, C. Roger *et al.* Effects of injury proneness and task difficulty on joint kinetic variability. **Medicine & Science In Sports & Exercise**, [S.L.], v. 32, n. 11, p. 1833-1844, nov. 2000. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-200011000-00004>.
27. JEONG, Jiyoung *et al.* Core Strength Training Can Alter Neuromuscular and Biomechanical Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury. **The American Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 183-192, 31 dez. 2020. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546520972990>.
28. JOHNSTON, Jeffrey T. *et al.* Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Tears in Professional American Football Athletes. **The American Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 862-868, 21 fev. 2018. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546518756328>.
29. KAY, Melissa C. *et al.* The Epidemiology of Severe Injuries Sustained by National Collegiate Athletic Association Student-Athletes, 2009–2010 Through 2014–2015. **Journal Of Athletic Training**, [S.L.], v. 52, n. 2, p. 117-128, 1 fev. 2017. Journal of Athletic Training/NATA. <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-52.1.01>

30. LUENBERGER, David G. *et al.* **Introduction to Dynamic Systems: theory, models, and applications.** Toronto: John Wiley & Sons, 1979.
31. KROSSHAUG, Tron *et al.* Mechanisms of Anterior Cruciate Ligament Injury in Basketball. **The American Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 359-367, mar. 2007. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546506293899>.
32. MAGILL, Richard; ANDERSON, David. **Motor Learning and Control: concepts and applications.** 11. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2016.
33. MATHER, Richard C. *et al.* Societal and Economic Impact of Anterior Cruciate Ligament Tears. **Journal Of Bone And Joint Surgery**, [S.L.], v. 95, n. 19, p. 1751-1759, 2 out. 2013. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.2106/jbjs.l.01705>.
34. MCGARRY, Tim *et al.* Sport competition as a dynamical self-organizing system. **Journal Of Sports Sciences**, [S.L.], v. 20, n. 10, p. 771-781, jan. 2002. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/026404102320675620>.
35. MYER, Gregory D *et al.* The Relationship of Hamstrings and Quadriceps Strength to Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Athletes. **Clinical Journal Of Sport Medicine**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 3-8, jan. 2009. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1097/jsm.0b013e318190bddb>.
36. NIEDERER, Daniel *et al.* Return to play, performance, and career duration after anterior cruciate ligament rupture: a case-control study in the five biggest football nations in europe. **Scandinavian Journal Of Medicine & Science In Sports**, [S.L.], v. 28, n. 10, p. 2226-2233, 9 jul. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/sms.13245>.
37. OFTADEH, Sara *et al.* External Focus or Differential Learning: is there an additive effect on learning a futsal goal kick?. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 317, 29 dez. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19010317>
38. ORANGI, Behzad Mohammadi *et al.* Motor learning methods that induce high practice variability reduce kinematic and kinetic risk factors of non-contact ACL injury. **Human Movement Science**, [S.L.], v. 78, p. 102805, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2021.102805>
39. ORANGI, Behzad Mohammadi *et al.* Manipulation of task constraints is the most effective motor learning method for reducing risk factors for ACL injury during side-step cutting in both male and female athletes. **Research In Sports Medicine**, [S.L.], p. 1-17, 9 maio 2023. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15438627.2023.2209248>.

40. ORTH, Dominic *et al.* Creative Motor Actions As Emerging from Movement Variability. **Frontiers In Psychology**, [S.L.], v. 8, p. 1-8, 31 out. 2017. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01903>.
41. RANGANATHAN, Rajiv *et al.* Motor Learning through Induced Variability at the Task Goal and Execution Redundancy Levels. **Journal Of Motor Behavior**, [S.L.], v. 42, n. 5, p. 307-316, set. 2010. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00222895.2010.510542>.
42. REKIK, Raouf *et al.* Mechanisms of ACL injuries in men's football: a systematic video analysis over six seasons in the qatari professional league. **Biology Of Sport**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 575-586, 2023. Termedia Sp. z.o.o. <http://dx.doi.org/10.5114/biolsport.2023.118024>.
43. SCHMIDT, Marcus *et al.* Null Effects of Different Amounts of Task Variation in Both Contextual Interference and Differential Learning Paradigms. **Perceptual And Motor Skills**, [S.L.], v. 128, n. 4, p. 1836-1850, 2 jun. 2021. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/00315125211022302>.
44. SCHMIDT, Richard A. *et al.* A schema theory of discrete motor skill learning. **Psychological Review**, [S.L.], v. 82, n. 4, p. 225-260, jul. 1975. American Psychological Association (APA). <http://dx.doi.org/10.1037/h0076770>.
45. SCHÖLLHORN, Wolfgang I. *et al.* Does noise provide a basis for the unification of motor learning theories? **International Journal Of Sport Psychology**, [s. l.], v. 37, p. 186-206, 2006.
46. SCHÖLLHORN, Wolfgang I; BECKMANN, Hendrik; DAVIDS, Keith. Exploiting system fluctuations. Differential training in physical prevention and rehabilitation programs for health and exercise. **Kauno Medicinos Universitetas**, Brisbane, v. 6, n. 46, p. 365-373, 2010.
47. SCHÖLLHORN, Wolfgang I. Individualität - ein vernachlässig - ter Parameter? **Leistungssport**, v. 29, n. 2, p 5-12, 1999
48. SCHÖLLHORN, W.I. *et al.* Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. **Human Movement Science**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 319-333, jun. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2008.10.005>.
49. SEIFERT, Ludovic *et al.* Coordination Pattern Variability Provides Functional Adaptations to Constraints in Swimming Performance. **Sports Medicine**, [S.L.], v. 44, n. 10, p. 1333-1345, 4 jun. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-014-0210-x>.
50. SEIFERT, Ludovic *et al.* Key Properties of Expert Movement Systems in Sport. **Sports Medicine**, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 167-178, 18 dez. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-012-0011-z>.

51. SERRIEN, Ben *et al.* Short-term effects of differential learning and contextual interference in a goalkeeper-like task: visuomotor response time and motor control. **European Journal Of Sport Science**, [S.L.], v. 20, n. 8, p. 1061-1071, 2 dez. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2019.1696894>.
52. SUGIMOTO, Dai *et al.* Critical components of neuromuscular training to reduce ACL injury risk in female athletes: meta-regression analysis. **British Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 50, n. 20, p. 1259-1266, 1 jun. 2016. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095596>.
53. SUGIMOTO, Dai *et al.* Specific exercise effects of preventive neuromuscular training intervention on anterior cruciate ligament injury risk reduction in young females: meta-analysis and subgroup analysis. **British Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 49, n. 5, p. 282-289, 1 dez. 2014. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2014-093461>.
54. STUELCKEN, Max C. *et al.* Mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in elite women's netball: a systematic video analysis. **Journal Of Sports Sciences**, [S.L.], v. 34, n. 16, p. 1516-1522, 8 dez. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2015.1121285>.
55. TASSIGNON, Bruno *et al.* An Exploratory Meta-Analytic Review on the Empirical Evidence of Differential Learning as an Enhanced Motor Learning Method. **Frontiers In Psychology**, [S.L.], v. 12, p. 1-23, 7 maio 2021. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2021.533033>.
56. TRAVLOS, Antonios K. *et al.* Specificity and Variability of Practice, and Contextual Interference in Acquisition and Transfer of an Underhand Volleyball Serve. **Perceptual And Motor Skills**, [S.L.], v. 110, n. 1, p. 298-312, fev. 2010. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.2466/pms.110.1.298-312>.
57. VALENÇA, Miguel *et al.* Investigating the Effects of Differential Learning on Golfers' Pitching Performance as a Function of Handicap. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 19, n. 19, p. 12550, 1 out. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph191912550>.
58. VAN EMMERIK, Richard E.A. *et al.* Comparing dynamical systems concepts and techniques for biomechanical analysis. **Journal Of Sport And Health Science**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 3-13, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2016.01.013>.
59. VON PORAT, A. High prevalence of osteoarthritis 14 years after an anterior cruciate ligament tear in male soccer players: a study of radiographic and patient relevant outcomes. **Annals Of The Rheumatic Diseases**, [S.L.], v. 63, n. 3, p. 269-273, 1 mar. 2004. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/ard.2003.008136>.

60. WEBSTER, Kate E. *et al.* Meta-analysis of meta-analyses of anterior cruciate ligament injury reduction training programs. **Journal Of Orthopaedic Research®**, [S.L.], v. 36, n. 10, p. 2696-2708, 13 jun. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jor.24043>.
61. ZAZULAK, Bohdanna T. *et al.* Deficits in Neuromuscular Control of the Trunk Predict Knee Injury Risk. **The American Journal Of Sports Medicine**, [S.L.], v. 35, n. 7, p. 1123-1130, jul. 2007. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546507301585>.