



Protocolo integrado de avaliação isocinética e biomecânica na recuperação muscular de atletas de alto rendimento

Integrated protocol of isokinetic and biomechanical assessment in muscle recovery of high-performance athletes

Protocolo integrado para la evaluación isocinética y biomecánica en la recuperación muscular de atletas de alto rendimiento

Tipo de manuscrito: Perspectiva Clínica / Proposta de Protocolo

Autor: Ismael Gomes

Fisioterapeuta (UNISUL) | Especialista em Fisioterapia Esportiva (SONAFE) | Mestre e Doutorando em Ciências do Movimento Humano (UDESC)

Resumo

A recuperação muscular no esporte de alto rendimento exige precisão diagnóstica aliada a intervenções guiadas por dados quantitativos. Este artigo apresenta uma proposta de protocolo clínico, desenvolvida ao longo de quase duas décadas de prática especializada, que integra a dinamometria isocinética e a análise biomecânica funcional para identificar assimetrias e déficits de torque. A abordagem multidisciplinar, fundamentada na fisiologia do exercício e no monitoramento contínuo sistêmico, visa reduzir a incidência de recidivas e otimizar o retorno ao esporte. Propõe-se que a liberação esportiva seja baseada em critérios quantitativos objetivos, progressão individualizada por metas e embasamento científico atualizado. A validação prospectiva multicêntrica deste protocolo constitui a etapa subsequente de investigação.

Palavras-chave: Reabilitação Esportiva; Biomecânica; Dinamometria Isocinética; Recuperação Muscular; Fisioterapia Ortopédica.

Abstract

Muscle recovery in high-performance sports requires diagnostic precision combined with interventions guided by quantitative data. This article presents a clinical protocol proposal developed over nearly two decades of specialized practice that integrates isokinetic dynamometry and functional biomechanical analysis to identify hidden asymmetries and specific torque deficits. The multidisciplinary approach, grounded in exercise physiology and continuous systemic monitoring, aims to reduce the incidence of recurrence and optimize return to sport. It is proposed that sports clearance be based on objective quantitative criteria, individualized goal-driven progression, and up-to-date scientific evidence. Prospective multicenter validation of this protocol constitutes the next step in the investigation.

Keywords: Sports Rehabilitation; Biomechanics; Isokinetic Dynamometry; Muscle Recovery; Orthopedic Physiotherapy.

Introdução

A incidência de lesões musculoesqueléticas entre atletas de elite representa um desafio complexo para as equipes de saúde esportiva. O manejo clínico dessas ocorrências frequentemente determina o sucesso ou o declínio de uma temporada competitiva, exigindo intervenções rápidas e fundamentadas em evidências. Historicamente, os modelos terapêuticos tradicionais limitavam-se à supressão da dor e à cicatrização tecidual básica, negligenciando disfunções estruturais subjacentes. Bahr e Krosshaug (2005) já alertavam para a necessidade de compreender os mecanismos multifatoriais das lesões, enfatizando que a ausência de dor raramente equivale à plena prontidão funcional.

Com o amadurecimento das Ciências do Movimento Humano, ficou demonstrado que desequilíbrios de força e alterações cinemáticas sutis permanecem latentes quando não são mensurados por instrumentação tecnológica adequada. Essa lacuna diagnóstica responde pelas elevadas taxas de recidiva observadas nas modalidades de explosão e de contato físico. Paton et al. (2023), no Consenso Internacional de Londres sobre lesões musculares, reafirmaram que a avaliação por meio de testes manuais isolados falha em detectar assimetrias biomecânicas críticas, o que torna imperativa a adoção de avaliações instrumentadas.

Para abordar essa limitação metodológica, o presente artigo descreve um protocolo integrado que combina a avaliação isocinética computadorizada, a reabilitação biomecânica funcional e o monitoramento fisiológico contínuo. O objetivo central é apresentar as diretrizes científicas dessa proposta, demonstrando, com respaldo em pesquisas recentes e na produção científica do autor (Gomes Júnior et al., 2024), como a quantificação de dados pode tornar a recuperação muscular um processo previsível, mensurável e seguro.

Trata-se de um relato de experiência clínica sistematizada, com fundamentação na literatura científica internacional. Reconhece-se que a validação formal do protocolo por meio de estudos randomizados controlados constitui uma limitação atual e uma agenda de pesquisa futura.

1. Fisiologia Celular da Lesão e Reparação Tecidual Muscular

A compreensão dos mecanismos microscópicos e macroscópicos do tecido muscular estriado esquelético constitui a base para qualquer intervenção terapêutica de excelência. A ruptura de miofibrilas desencadeia uma cascata inflamatória coordenada por mediadores químicos essenciais à sinalização biológica. Järvinen et al. (2005) demonstraram que o processo fagocitário inicial é necessário para a remoção do tecido necrótico e para a ativação das células satélites miogênicas.

O manejo criterioso da resposta inflamatória aguda determina a integridade estrutural do tecido reparado. Intervenções que bloqueiam completamente a via da ciclooxigenase podem resultar em

tecido de reparo mecanicamente frágil e desorganizado (Mackey et al., 2011). Por outro lado, o acúmulo excessivo de exsudato inflamatório provoca isquemia local e retarda a proliferação dos fibroblastos. O equilíbrio entre esses polos orienta a modulação terapêutica nas fases iniciais do tratamento.

O tecido cicatricial resultante da fase de remodelamento apresenta propriedades viscoelásticas distintas daquelas da fibra original, com menor elasticidade e maior suscetibilidade a rupturas quando submetido precocemente a tensões máximas. Assim, a intervenção motora deve promover o alinhamento progressivo das fibras colágenas por meio de estresse mecânico terapêutico gradativo, respeitando o tempo biológico de cada fase da cicatrização.

2. A Dinamometria Isocinética como Ferramenta Diagnóstica e Prognóstica

A avaliação isocinética computadorizada transformou a compreensão sobre a capacidade de geração de força humana nos centros especializados de reabilitação. O equipamento permite a mensuração do pico de torque máximo em diversas velocidades angulares predeterminadas, com resistência acomodativa que assegura a integridade articular sob o esforço máximo (Dvir, 2004).

Na prática clínica, a tecnologia isocinética substitui a subjetividade dos testes manuais convencionais por gráficos cinéticos precisos, detalhando o comportamento contrátil do músculo em cada grau do arco de movimento. Esse detalhamento revela déficits específicos que passariam despercebidos em avaliações puramente observacionais.

Um dos indicadores primordiais é a razão de força entre a musculatura agonista e a antagonista. Desequilíbrios nessa proporção, particularmente na relação isquiotibiais/quadríceps, configuram fatores preditivos de rupturas musculares durante sprints e desacelerações bruscas (Undheim et al., 2015). A assimetria bilateral, por sua vez, é comparada ao membro contralateral saudável: déficits superiores a 10% representam risco biomecânico inaceitável para a liberação esportiva, conforme o consenso da literatura e da experiência clínica acumulada no protocolo descrito.

Os laudos gerados orientam a tomada de decisão com transparência e permitem que o próprio atleta visualize seus déficits, o que favorece a adesão ao programa de recuperação.

3. Análise Biomecânica Avançada de Padrões Cinéticos e Cinemáticos

O comprometimento de um agrupamento muscular repercute sobre toda a cadeia cinética interligada. O sistema nervoso central desenvolve rapidamente adaptações compensatórias para evitar a estimulação de nociceptores e preservar a locomoção. Esses padrões adaptativos, contudo, alteram negativamente a cinemática articular e sobrecarregam estruturas adjacentes previamente saudáveis.

O mapeamento biomecânico é uma ferramenta indispensável para a detecção precoce dessas compensações. O protocolo utiliza biofotogrametria bidimensional e filmagem em alta taxa de quadros para a análise do gesto esportivo, com atenção especial à estabilidade lombopélvica e ao alinhamento dinâmico em valgo dos joelhos durante a aterrissagem.

Estudos do próprio autor (Gomes Júnior et al., 2024) evidenciaram que a Síndrome do Impacto Femoroacetabular impõe restrições cinemáticas severas, alterando a eficiência dos deslocamentos e gerando forças de torção compensatórias, frequentemente culminando em lesões recorrentes no complexo pélvico. A integridade da abóbada plantar e a mobilidade da articulação talocrural também modulam diretamente o recrutamento dos estabilizadores proximais.

O condicionamento do controle neuromotor atua na desconstrução progressiva desses padrões lesivos. O atleta é treinado para recrutar as unidades motoras adequadas na sequência cronológica correta, restaurando a coordenação inter e intramuscular e reduzindo o risco de desgaste articular prematuro.

4. Integração Sistêmica Multidisciplinar no Alto Rendimento

A recuperação de um atleta submetido a demandas extremas não pode ser conduzida sob uma perspectiva clínica fragmentada. A integração entre a fisioterapia ortopédica e o conhecimento em enfermagem clínica amplia o escopo de análise e confere um diferencial terapêutico relevante ao tratar o organismo como um sistema biológico integrado.

O monitoramento do estado metabólico basal deve preceder o início de qualquer sessão de reabilitação intensa. A detecção de fadiga do sistema nervoso central ou de processos infecciosos subclínicos reduz significativamente a capacidade de adaptação ao treinamento regenerativo (Gabbett, 2016). O acompanhamento de sinais vitais, da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) e das escalas de percepção de esforço orienta a magnitude da carga diária.

A modulação terapêutica do processo inflamatório por meio de recursos biofísicos, incluindo fotobiomodulação e terapia compressiva, demanda conhecimento aprofundado sobre janelas terapêuticas e dosimetria, com o objetivo de maximizar a respiração mitocondrial sem induzir estresse oxidativo adicional.

A educação em saúde constitui um pilar essencial do vínculo terapêutico. O atleta recebe orientações fundamentadas sobre o papel reparador das fases profundas do sono e sobre a importância do manejo do estresse fora da clínica (Bourdon et al., 2017). O controle rigoroso desses fatores extrínsecos potencializa os resultados do treinamento isocinético e mantém o organismo em um ambiente bioquímico favorável à síntese proteica.

5. Prescrição de Exercícios Baseada em Métricas Objetivas

A concepção de um programa de cinesioterapia contemporânea requer o abandono do empirismo em prol da precisão quantitativa. Com base nos relatórios isocinéticos, a prescrição terapêutica é direcionada às angulações articulares em que o equipamento identificou os maiores déficits musculares.

Nas fases iniciais, o trabalho isométrico propicia reativação neural segura, analgesia endógena e recrutamento de unidades motoras sem atrito mecânico nas bordas da lesão. Progride-se para contrações concêntricas para restaurar o trofismo e a capacidade contrátil básica e, posteriormente, para treinamento excêntrico de intensidade moderada a alta, mecanismo central de freio corporal e de absorção de energia cinética nos gestos esportivos. Van Dyk et al. (2016) demonstraram que o ganho de força excêntrica reduz substancialmente a incidência de estiramentos musculares, achado corroborado por uma revisão sistemática de Rudisill et al. (2023).

O volume semanal de treinamento é ajustado em consonância com a razão de carga aguda:crônica do atleta, uma ferramenta cujo valor preditivo foi reafirmado em revisões recentes (Matas-Bustos et al., 2025; Bourne et al., 2018). A progressão entre fases baseia-se exclusivamente na conquista de metas biomotoras e de índices de força objetivos, e não no tempo cronológico de afastamento. A dinamometria manual isométrica pré-sessão permite o monitoramento diário da fadiga neuromuscular: quedas superiores a 10% indicam necessidade de redução imediata do volume programado.

6. Testes Funcionais Dinâmicos e Recondicionamento Neuromuscular

A força máxima em cadeia cinética aberta, mensurada no dinamômetro isocinético, por si só, não garante competência motora em ambiente competitivo. O recondicionamento neuromuscular tem como objetivo integrar a capacidade contrátil recuperada a padrões de movimento multiplanares e instáveis, transferindo as adaptações da clínica para o campo (Wilk et al., 2024).

O Modified Star Excursion Balance Test (mSEBT) é utilizado como instrumento de avaliação funcional validado, expondo deficiências de controle postural dinâmico não detectáveis por equipamentos estáticos (Plisky et al., 2009; Gomes Júnior et al., 2024). O treinamento proprioceptivo por perturbações externas não antecipatórias reeduca os fusos musculares e os órgãos tendinosos de Golgi, reduzindo a latência da resposta estabilizadora articular.

Exercícios pliométricos são introduzidos nas etapas finais para restaurar a eficiência do ciclo de alongamento e encurtamento muscular. A periodização da carga pliométrica obedece a critérios rigorosos para prevenir sobrecarga inflamatória nas estruturas conjuntivas recém-remodeladas. O

recondicionamento final simula as demandas cinéticas específicas da posição tática e da modalidade esportiva do atleta, garantindo a transferência das habilidades neuromusculares para o contexto real de jogo.

7. Critérios Quantitativos para o Retorno ao Esporte

A deliberação de liberar um atleta para o retorno competitivo é o momento de maior responsabilidade clínica neste protocolo. Altas baseadas exclusivamente na ausência de sintomas são consideradas insuficientes. O fluxo de critérios adotado é cumulativo: todos os parâmetros a seguir devem ser cumpridos antes da liberação.

O primeiro critério exige, no mínimo, a recuperação de 90% do pico de torque isocinético em relação ao membro contralateral, o Índice de Simetria do Membro (ISM). Simultaneamente, a razão agonista/antagonista deve se enquadrar nas referências normativas da modalidade. Os testes funcionais, o salto triplo cruzado e o mSEBT devem apresentar simetria superior a 90% (Blanch & Gabbett, 2016). Por fim, a ausência de cinesiofobia e a prontidão psicológica do atleta são avaliadas por meio de escalas validadas e observação direta durante simulações de intensidade competitiva (Arden et al., 2013).

A liberação é formalizada por meio de laudo técnico circunstanciado, contendo infográficos de evolução, dados de assimetria biomecânica e resultados isocinéticos, e é encaminhada a toda a comissão técnica. A alta deixa de ser uma estimativa clínica e passa a ser o desfecho mensurável de um processo estruturado.

8. Monitoramento Longitudinal e Prevenção de Recidivas

A conclusão do período de reabilitação intensiva inaugura um protocolo contínuo de manutenção estrutural preventiva. O acompanhamento longitudinal é considerado parte integrante do protocolo, não um recurso opcional (Mendiguchia et al., 2017).

Reavaliações trimestrais isocinéticas e biomecânicas rastreiam a manutenção dos padrões de torque estabelecidos. A densidade do calendário esportivo impõe microtraumas cumulativos que podem comprometer a reserva de força construída durante a reabilitação. Essas reavaliações funcionam como um sistema de alerta precoce, identificando declínios silenciosos antes da ruptura clínica.

Microciclos de exercícios excêntricos preventivos e de estabilização lombopélvica são integrados ao aquecimento pré-treino do atleta. O conhecimento adquirido durante o tratamento capacita o esportista a realizar sua própria rotina de manutenção de forma independente. O fluxo de informações

entre o fisioterapeuta e o departamento médico do clube permite ajustes imediatos na carga de trabalho diante de sinais de fadiga ou de queda de força.

Quadro 1 – Síntese do Protocolo Integrado por Fases

Fase	Período	Instrumentos	Critério de Progressão	Objetivo Principal
Aguda	Dias 1–7	Dinamometria isométrica, monitoramento de sinais vitais, VFC	Ausência de edema agudo; dor $\leq 3/10$ (EVA)	Controle inflamatório e reativação neural segura
Subaguda	Semanas 2–4	Avaliação isocinética, biofotogrametria 2D	ISM $\geq 70\%$; razão agonista/antagonista dentro dos limites normativos	Restauração do trofismo e da capacidade contrátil básica
Funcional	Semanas 4–8	mSEBT, testes de salto, dinamometria manual diária	ISM $\geq 85\%$; mSEBT simétrico $\geq 90\%$	Recondicionamento neuromuscular e pliometria progressiva
Retorno ao Esporte	Semanas 8–12+	Bateria isocinética completa, escala de prontidão psicológica, simulação esportiva específica	ISM $\geq 90\%$; triple hop $\geq 90\%$; ausência de cinesiofobia	Liberação segura com laudo técnico circunstanciado

ISM = Índice de Simetria do Membro; mSEBT = Modified Star Excursion Balance Test; VFC = Variabilidade da Frequência Cardíaca.

Limitações e Agenda de Pesquisa

O presente protocolo baseia-se em experiência clínica sistematizada e respaldada pela literatura científica, mas não apresenta dados primários provenientes de um ensaio clínico controlado. Essa é sua principal limitação metodológica. A ausência de grupo de controle e de randomização impede aferir causalmente a eficácia comparativa do protocolo.

Como agenda de pesquisa futura, propõe-se: (1) estudo prospectivo multicêntrico com atletas de diferentes modalidades; (2) análise da validade preditiva dos critérios quantitativos de alta para diferentes populações; e (3) desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento longitudinal com integração de dados isocinéticos, biomecânicos e de carga de treinamento.

Conclusão

A integração entre a avaliação isocinética computadorizada e a reabilitação biomecânica funcional eleva o rigor do cuidado na fisioterapia esportiva. A substituição do empirismo por métricas objetivas, desde o diagnóstico até a liberação esportiva, reduz o risco de recidivas e fundamenta clinicamente cada decisão terapêutica.

A visão sistêmica do atleta, que incorpora monitoramento metabólico, psicoeducação e acompanhamento longitudinal, amplia o escopo da intervenção para além da articulação lesada. O retorno esportivo bem-sucedido é o desfecho de um processo estruturado, biologicamente fundamentado e individualizável por meio de metas quantificáveis.

A padronização e a validação prospectiva deste modelo representam a contribuição almejada para o avanço das Ciências da Saúde Esportiva, com potencial para reduzir custos humanos e econômicos associados às lesões musculoesqueléticas no esporte de alto rendimento.

Referências

- ARDERN, C. L. et al. Psychological factors associated with return to sport following injury. *British Journal of Sports Medicine*, v. 47, n. 17, p. 1120–1126, 2013.
- BAHR, R.; KROSSHAUG, T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, v. 39, n. 6, p. 324–329, 2005.
- BLANCH, P.; GABBETT, T. J. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute: chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury—*British Journal of Sports Medicine*, v. 50, n. 8, p. 471-475, 2016.
- BOURDON, P. C. et al. Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 12, Suppl 2, p. S2161-S2170, 2017.
- BOURNE, M. N. et al. Impact of exercise on the acute: chronic workload ratio and injury risk. *Sports Medicine*, v. 48, n. 4, p. 907-920, 2018.
- DVIR, Z. *Isokinetics: Muscle Testing, Interpretation and Clinical Applications*. 2. ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 2004.
- GABBETT, T. J. The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, v. 50, n. 5, p. 273–280, 2016.
- GOMES JÚNIOR, I. R.; CANELLA, R. P.; ROESLER, H. Quality of life in patients with Femoroacetabular Impingement Syndrome. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 11, p. 01–15, 2024.
- GOMES JÚNIOR, I. R.; CANELLA, R. P.; ROESLER, H. Functional aspects of patients with Femoroacetabular Impact Syndrome. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 11, p. 01–18, 2024.
- JÄRVINEN, T. A. et al. Muscle injuries: biology and treatment—*American Journal of Sports Medicine*, v. 33, n. 5, p. 745–764, 2005.



MACKEY, A. L. et al. The influence of anti-inflammatory medication on exercise-induced myogenic precursor cell responses in humans. *Journal of Applied Physiology*, v. 111, n. 2, p. 418–428, 2011.

MENDIGUCHIA, J. et al. Field monitoring of hamstring muscle recovery post-injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 49, n. 8, p. 1613–1621, 2017.

PLISKY, P. J. et al. The reliability of an instrumented device for measuring components of the Star Excursion Balance Test. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, v. 4, n. 2, p. 92–99, 2009.

SOLE, G. et al. Hamstring muscle injuries: are they related to isokinetic muscle strength imbalances? *Physical Therapy in Sport*, v. 12, n. 3, p. 102-109, 2011.

UNDHEIM, M. B. et al. Isokinetic muscle strength and readiness to return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: is there an association? *British Journal of Sports Medicine*, v. 49, n. 20, p. 1305–1310, 2015.

VAN DYK, N. et al. Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programs halves the rate of hamstring injuries: a systematic review and meta-analysis of 8459 athletes— *British Journal of Sports Medicine*, v. 53, n. 21, p. 1355–1361, 2019.