



USO DA OXIGENOTERAPIA HIPERBÁRICA NO TRATAMENTO DE LESÕES MUSCULARES DECORRENTES DE TRAUMAS ESPORTIVOS: SÍNTESE DE EVIDÊNCIAS

Use of hyperbaric oxygen therapy in the treatment of muscle injuries occurred after sport trauma: evidence synthesis

Alexandre Moreira¹, Alexandre Campos Moreira²

¹Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo - SP. Curso de Pós-Graduação em Medicina Hiperbárica. ²Universidade Nove de Julho, São Paulo – SP. Curso de Graduação em Medicina.

Resumo

Introdução: Tem sido sugerido que a oxigenoterapia hiperbárica (OHB) pode ser utilizada para recuperação de lesões musculoesqueléticas, especialmente aquelas decorrentes de práticas esportivas. **Objetivo:** Realizar uma revisão da literatura buscando evidenciar os resultados relacionados ao uso da OHB no tratamento de lesões musculares decorrentes de traumas esportivos. **Método:** A seleção dos trabalhos foi realizada na base de dados PUBMED, mantida pelo *National Institute of Health*, dos Estados Unidos, com base na seguinte estratégia de busca: [(oxygenotherapy[title] OR oxygentherapy[title] OR "oxygen therapy"[title] OR "therapy with oxygen"[title] OR "hyperbaric oxygen"[title])] AND musc*[title] AND sport*. **Resultados:** Após a busca, 12 artigos preencheram adequadamente os critérios de inclusão. **Síntese de Evidências:** Estudos em humanos demonstraram que a OHB não foi eficaz no tratamento de lesões musculares induzidas pelo exercício, no tratamento de dor muscular tardia, tão pouco na recuperação após exercícios excêntricos que induziram dor muscular temporária. Nesse sentido, ainda são necessários estudos controlados, multicêntricos e de larga escala envolvendo seres humanos para avaliar se efetivamente existem efeitos benéficos relacionados no tocante ao uso da OHB no reparo de lesões musculoesqueléticas.

Palavras-chave: Medicina Hiperbárica, Oxigenoterapia, Lesões Musculares, Práticas Esportivas.

Abstract

Introduction: It has been suggested that Hyperbaric Oxygen Therapy (HBO) can be used in the recovery of musculoskeletal injuries, especially those with sports practice. **Aim:** To perform a literature review in order to show the results related to the use of HBO in the treatment of muscle injuries due to sports. **Method:** A selection of studies was carried out in the PUBMED database, maintained by the National Institute of Health, from United States, with basis this search strategy: [(oxygen therapy [title] OR oxygen therapy [title] OR "oxygen therapy" [title] OR "oxygen therapy" [title] OR "hyperbaric oxygen" [title])] AND musc* [title] AND sport*. **Results:** After the search, 12 articles adequately met the inclusion criteria. **Evidence Synthesis:** Human studies have shown that HBO was not effective in the treatment of muscle injuries induced by exercise, in the treatment of late muscle pain, or in recovery after eccentric exercises that induced temporary muscle pain. In this sense, it also requires controlled, multicenter and large-scale studies involving humans to ensure that there are possible related beneficial effects with the use of HBO in the repair of musculoskeletal injuries.

Keywords: Hyperbaric Medicine, Oxygen Therapy, Muscle Injuries, Sports Practices.



Introdução

As lesões musculoesqueléticas são aquelas que ocorrem mais comumente durante a prática de esportes. Respondem por algo em torno de 10 a 55% de todas as lesões sofridas, e representam uma enorme preocupação no âmbito da medicina esportiva. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), sugerem que as lesões musculoesqueléticas são a causa mais comum de dor intensa em longo prazo, além de incapacidade física, e afetam centenas de milhões de pessoas em todo o mundo. A perda ou anormalidade da estrutura ou do funcionamento corporal, resultante de uma exposição isolada à energia física durante o treinamento ou competição esportiva, é normalmente a principal causa das lesões musculoesqueléticas (CONTRERAS-MUÑOZ et al., 2016).

O reparo do músculo esquelético, quando lesionado, segue um padrão previamente definido, normalmente dividido em três fases. A primeira fase é a de destruição, caracterizada pela ruptura da membrana das fibras musculares e pela necrose subsequente, além de reação celular inflamatória. Na segunda fase, de reparação, ocorre fagocitose das fibras musculares necróticas por monócitos derivados do sangue, ativação de células satélites, geração de novas fibras musculares e produção de cicatriz tecidual. Por fim, na terceira fase, as fibras musculares se reorganizam, ocorre remodelação do tecido cicatricial, restauração da função muscular e maturação das miofibras em regeneração, incluindo a formação de um aparelho contrátil funcional (CONTRERAS-MUÑOZ et al., 2016).

A oxigenoterapia hiperbárica (OHB) compreende terapia de inalação e difusão de oxigênio em altas doses e em curto prazo, administrada sistemicamente através das vias aéreas e sangue, na qual o paciente respira oxigênio concentrado a uma pressão maior que uma atmosfera absoluta (ATA) (LÖNDAHL; BOULTON, 2020). Várias propostas de novas indicações para a OHB surgem a cada dia. Embora muitos deles provavelmente se mostrem de importância clínica limitada, outros parecem ser bastante promissores. Todavia, profissionais responsáveis devem sempre permanecer cientes da necessidade de evidências clínicas de alta qualidade antes de introduzir indicações emergentes na prática clínica (BENNETT; MITCHELL, 2019).

A exposição a essas altas pressões de oxigênio influencia bastante a cascata de oxigênio no ambiente intracelular. Os níveis suprafisiológicos de oxigênio produzem uma série de efeitos terapêuticos, embora possam ser ocasionalmente tóxicos. Dentre os possíveis efeitos terapêuticos da OHB destaca-se a oxigenação de tecidos hipóxico-disfuncionais (BENNETT; MITCHELL, 2019).

Tem sido sugerido que a OHB pode ser utilizada para recuperação de lesões musculoesqueléticas, especialmente aquelas decorrentes de práticas esportivas. Dessa forma, a presente revisão se dispõe a compilar as principais publicações relacionadas à referida temática, fornecendo material atualizado e de fácil acesso, que poderá nortear a tomada de decisão clínica com relação ao uso de OHB para tratamento de lesões ocorridas durante a prática de esportes.

Objetivo

Realizar uma revisão da literatura buscando evidenciar os resultados relacionados ao uso da oxigenoterapia no tratamento de lesões musculares decorrentes de traumas esportivos.

Método

Trata-se de um estudo de caráter exploratório, baseado no método de revisão da literatura médica com síntese de evidências clínicas. A seleção dos trabalhos foi realizada na base de dados PUBMED, mantida pelo *National Institute of Health*, dos Estados Unidos, com base na seguinte estratégia de busca: [(oxygenotherapy[title] OR oxygenotherapy[title] OR "oxygen therapy"[title] OR "therapy with oxygen"[title] OR "hyperbaric oxygen"[title])] AND musc*[title] AND sport*.



Qualquer artigo científico que atendesse a referida estratégia foi inicialmente avaliado, sem corte temporal. Foram excluídos trabalhos que não discutiam o tema proposto, assim como teses, dissertações, trabalhos de conclusão de cursos de especialização e graduação, resumos e trabalhos completos publicados em congressos, além de materiais informativos de qualquer natureza.

Resultados

A busca pelas referências foi realizada no dia 29 de janeiro de 2020. Inicialmente foram identificados 13 trabalhos que atenderam adequadamente a sequência de palavras-chave utilizadas na seleção. Porém, como o resumo de 1 dos artigos (BABUL, 2000) não estava disponível, o mesmo foi eliminado. Após a leitura dos títulos e resumos dos artigos restantes, quando então foi verificada a aderência ao tema, estes trabalhos foram incluídos em uma biblioteca digital com a utilização do *software Zotero* (FERRAZ, 2016; ZOTERO, 2019), e suas informações básicas são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Trabalhos previamente selecionados para revisão.

Título	Autor	Ano	Publicação
> > Hyperbaric oxygen in the treatment of acute muscle stretch inju...	Best et al.	1998	The American Journal of Sports Me...
> > Hyperbaric oxygen therapy does not affect recovery from delay...	Mekjavic et al.	2000	Medicine and Science in Sports and...
> > Treatment of exercise-induced muscle injury via hyperbaric oxy...	Harrison et al.	2001	Medicine and Science in Sports and...
> > Hyperbaric oxygen increases the contractile function of regener...	Gregorevic et al.	2002	Medicine and Science in Sports and...
> > Effects of hyperbaric oxygen on recovery from exercise-induce...	Webster et al.	2002	Clinical Journal of Sport Medicine: ...
> > Effect of hyperbaric oxygen therapy on exercise-induced muscl...	Germain et al.	2003	Undersea & Hyperbaric Medicine: J...
> > Hyperbaric oxygen treatment of musculoskeletal disorders on t...	Drobnic e Turmo	2010	Medicina Clínica
> > Effects of hyperbaric oxygen on muscle fatigue after maximal i...	Shimoda et al.	2015	Journal of Strength and Conditionin...
> > Microvascular oxygen partial pressure during hyperbaric oxyge...	Yamakoshi et al.	2015	American Journal of Physiology. Re...
> > Hyperbaric oxygen reduces inflammation, oxygenates injured ...	Oyaizu et al.	2018	Scientific Reports
> > Neuromuscular efficiency in fibromyalgia is improved by hyper...	Casale et al.	2019	Clinical and Experimental Rheumat...
> > Hyperbaric Oxygen Therapy in Sports Musculoskeletal Injuries	Moghadam et al.	2019	Medicine and Science in Sports and...

Fonte: Biblioteca montada pelo autor com a utilização do *software Zotero*.

Após a montagem da biblioteca, os artigos previamente selecionados foram baixados e lidos em sua íntegra. Nesse momento, nenhum trabalho foi excluído visto que todos atendiam adequadamente a proposta desta revisão. Dessa forma, os resumos dos 12 artigos selecionados são apresentados na seção a seguir, obedecendo a ordem cronológica da data de publicação.

Revisão da Literatura

Best et al. (1998), iniciaram o artigo afirmando que a oxigenoterapia hiperbárica (OHB) se tratava de uma terapia estabelecida em várias áreas da medicina clínica. No entanto, os autores apontaram que ainda existiam resultados conflitantes quanto à sua eficácia para lesões de tecidos moles relacionadas ao esporte. Sendo assim, propuseram examinar o uso da OHB após uma lesão aguda por estiramento muscular em um modelo animal. Para tal, dois grupos de coelhos ($n = 9$ em cada grupo) foram submetidos a uma lesão parcial por estiramento na junção entre o ventre no músculo tibial anterior e seu tendão. Para todos os 18 animais as lesões foram induzidas no membro esquerdo, e o membro direito não lesionado serviu como controle, que por sua vez foi operado por simulação. Ainda, somente no grupo 1, os animais foram expostos ao oxigênio hiperbárico ($> 95\%$ de O_2 a 2,5ata) por 60 minutos, diariamente, por 5 dias, tendo o tratamento sido iniciado 24 horas após a lesão. Como resultados os autores apontaram que a avaliação 7 dias após a lesão demonstrou



um déficit funcional (torque isométrico percentual do tornozelo; lado lesado *versus* lado não lesionado) de 14,9% +/- 5,5% para o grupo tratado, e 47,5% +/- 5,4% para o grupo sem tratamento, sendo esta diferença estatisticamente significativa. Em somatória, estudos morfológicos revelaram uma cura mais completa no grupo tratado. Por fim, a conclusão dos autores foi que a OHB pode desempenhar um papel na aceleração da recuperação após lesão aguda por estiramento muscular, embora mais estudos fossem necessários à época para que se pudesse estabelecer conclusões definitivas e recomendações da OHB para tratamento de lesões desportivas.

Mekjavic e colaboradores (2000), conduziram um estudo que buscou investigar se a OHB seria capaz de melhorar a recuperação após lesão muscular induzida pelo exercício. Para tal, selecionaram 34 indivíduos do sexo masculino saudáveis, que foram aleatoriamente designados para fazer parte de um grupo placebo ou de um grupo OHB. Todos os indivíduos foram testados quanto à força isométrica máxima (pré-exercício) dos flexores do cotovelo direito. Cada sujeito completou um treino excêntrico de alta força do grupo muscular flexor do cotovelo, visando induzir dor muscular tardia (DOMS). Nos 7 dias sucessivos após este treino, os participantes foram expostos a um ambiente hiperbárico de 2,5 ata por 60 minutos, inspirando uma mistura normóxica (P (I) O₂ = 0,2 ata; grupo placebo) ou uma mistura de gases hiperóxicos (P (I) O₂ = 2,5 ata; grupo OHB). Antes do treino excêntrico, e diariamente pelos 10 dias seguintes, foram obtidas medidas em relação a força muscular isométrica máxima dos músculos flexores do cotovelo, circunferências do braço direito, e classificação da dor muscular percebida. Os resultados apontaram que a força isométrica diminuiu significativamente dos níveis de pré-exercício de 25,1 +/- 3,8 kp para os níveis pós-exercício de 12,0 +/- 4,6 kp, no grupo OHB, e de 24,6 +/- 3,4 kp para 12,5 +/- 3,7 kp, no grupo placebo. Ainda segundo os autores, durante o período de recuperação de 10 dias, não houve diferença na taxa de recuperação da força muscular entre os dois grupos. A dor percebida atingiu o pico em cerca de 48 horas após o exercício, sem diferença entre os grupos. Além disso, os aumentos induzidos pelo exercício na circunferência do braço foram semelhantes em ambos. Sendo assim, a conclusão do estudo foi que a OHB não se mostrou como uma terapia eficaz para o tratamento de dor muscular tardia.

Harrison et al. (2001), propuseram examinar o papel da OHB no tratamento da lesão muscular induzida pelo exercício. No estudo, 21 voluntários do sexo masculino em idade universitária foram divididos em três grupos: controle, OHB imediata (iOHB) e OHB atrasada (dOHB). Todos os sujeitos realizaram 6 séries (10 repetições por série) de contrações musculares excêntricas com uma carga equivalente a 120% do seu máximo concêntrico. Os tratamentos com OHB consistiram em 100 minutos de exposição a 2,5 ata e 100% de oxigênio, com respiração intermitente do ar ambiente (30 minutos a 100% de O₂, 5 minutos a 20,93% de O₂). Os tratamentos com OHB iniciaram 2 horas (iOHB) ou 24 horas (dOHB) após o exercício, e foram administrados diariamente até o dia 4 após os experimentos. A área da seção transversal dos músculos flexores do antebraço (CSA) e o tempo de relaxamento em T2 por meio de ressonância magnética (RM) foram avaliados na linha de base, e 2, 7 e 15 dias após a lesão. A força isométrica e a classificação da dor percebida dos flexores do antebraço foram avaliadas na linha de base, 1, 2, 3, 4, 7 e 15 dias pós-lesão. A creatina quinase sérica (CK) foi avaliada no dia 0 e nos dias 1, 2, 7 e 15 pós-lesão. Dentre os principais resultados, foi possível observar que os valores médios de CSA basal foram: 2016,3, 1888,5 e 1972,2 mm² para os grupos controle, iOHB e dOHB, respectivamente. Todos os grupos apresentaram aumentos significativos na CSA em resposta à lesão (21% aos 2 dias, 18% aos 7 dias), sendo este resultado estatisticamente significativo, embora não tenham ocorrido diferenças significativas entre os grupos. Os tempos médios de relaxamento basal em T2 foram: 26,18, 26,28 e 27,43 ms para controle, iOHB e dOHB, respectivamente. Ainda, aumentos significativos no tempo de relaxamento T2 foram



observados em todos os grupos (64% em 2 dias, 66% em 7 dias e 28% em 15 dias), mas não houve diferenças significativas entre os grupos. A força isométrica, os níveis séricos de CK e a classificação da dor percebida também indicaram lesão muscular significativa em todos os grupos, mas não houve diferenças entre eles. Com base nestes resultados, os autores afirmaram categoricamente que a OHB não foi eficaz no tratamento da lesão muscular induzida pelo exercício.

Gregorevic, Williams e Lynch (2002), iniciaram seu artigo destacando que a maioria dos testes realizados em humanos para avaliar os efeitos da OHB no tratamento de lesões musculares relacionadas ao esporte eram bastante ambíguos. Nesse sentido, testaram a hipótese de que a OHB poderia melhorar as propriedades funcionais da regeneração do músculo sóleo de ratos, compostos predominantemente por fibras lentas. No estudo, após injeção intramuscular de cloridrato de bupivacaína para induzir a degeneração de todas as fibras no músculo sóleo, os ratos receberam tratamento diário com OHB a 3 ata. Os resultados indicaram que, nos ratos não tratados, os músculos lesionados demonstraram uma capacidade reduzida de produção de força (sóleo controle *versus* sóleo lesionado, 220,3 +/- 2,5 *versus* 157,6 +/- 3,3 kN.m (-2) aos 25 dias após-lesão) e continham fibras musculares regenerativas menores do que os músculos sóleos não lesionados (área da seção transversal da fibra no sóleo controle *versus* sóleo lesionado, 2289 +/- 164 vs. 1154 +/- 92 microm² a 25 dias pós-lesão. Ainda, os músculos sóleos regenerados de ratos tratados com OHB demonstraram uma maior capacidade de produção de força comparados aos músculos controle contralaterais, e quando comparados aos músculos regenerados de ratos não tratados aos 14 dias pós-lesão (tensão de pico de HBO-sóleo em regeneração e tensão de pico de sóleo não tratado, 42,9 +/- 1,9 e 35,8 +/- 3,9% dos músculos contralaterais de controle. Todavia, coube aos autores informar que nenhum efeito do tratamento foi observado aos 25 dias pós-lesão. Dessa forma, a conclusão do trabalho ressaltou que a OHB aprimorou as propriedades contráteis da regeneração dos músculos sóleos de ratos após lesão miotóxica, mas essa melhora não foi sustentada durante o processo regenerativo. Sendo assim, os dados indicam que o resultado do tratamento com OHB de uma lesão muscular pode ser influenciado pela composição do tipo de fibra do músculo lesado.

Webster et al. (2002), propuseram determinar se a OHB poderia acelerar a recuperação de danos musculares induzidos pelo exercício em humanos. Para tal, 12 estudantes saudáveis do sexo masculino (24,2 ± 3,2 anos), que não estavam acostumados a exercícios excêntricos extenuantes dos músculos da panturrilha, foram incluídos no estudo. Todos os sujeitos realizaram um protocolo extenuante de exercícios excêntricos, projetado para provocar danos musculares no músculo gastrocnêmio direito. Os indivíduos receberam subsequentemente condições de tratamento com OHB (oxigênio a 100% a 253 kPa [2,5 ata] por 60 minutos; n = 6) ou simulação (ar atmosférico a 132 kPa [1,3 ata] por 60 minutos; n = 6). O primeiro tratamento foi administrado 3-4 horas após o dano, com um segundo e um terceiro tratamentos após 24 e 48 horas do primeiro treino. Os resultados indicaram pouca evidência de uma diferença na taxa de recuperação entre os grupos que receberam ou não a OHB, sugerindo que a HBO não pode ser recomendada como um método eficaz de tratamento dessa forma de lesão muscular.

Germain e colaboradores (2003), avaliaram os efeitos da OHB na dor muscular induzida pelo exercício. Os 16 participantes do estudo foram divididos aleatoriamente em um grupo experimental, que recebeu OHB, e um grupo controle, que não recebeu nenhum tratamento. Os tratamentos com OHB consistiram em 5 sessões de respiração de oxigênio a 95% a 2,5 ata por 100 minutos. Dor muscular temporária foi criada com o emprego de uma tarefa de exercício excêntrico de membro inferior único, envolvendo o quadríceps femoral. Nos 14 dias seguintes, foram obtidas medições da dor muscular, circunferência da perna, pico de torque do quadríceps, potência média do quadríceps,



fadiga e creatina quinase plasmática. Após o exercício excêntrico, os níveis plasmáticos de creatina quinase (CK) e dor muscular percebida foram elevados, mas não foram diferentes entre os grupos OHB e controle. Ainda, a OHB não alterou a circunferência da perna, o pico de torque do quadríceps, a potência média ou a fadiga, em comparação ao grupo controle. Uma recuperação mais rápida foi observada no grupo OHB no dia 3 após o protocolo de exercícios, com dor muscular percebida ainda elevada para o grupo controle, mas não diferente da linha de base para o grupo OHB. Sendo assim, ao final do estudo os autores concluíram que 5 tratamentos com OHB não aceleraram a recuperação após exercícios excêntricos, que induziram dor muscular temporária.

Drobnic e Turmo (2010), iniciaram seu artigo de revisão da literatura afirmando que a OHB se tratava, à época, de uma modalidade terapêutica baseada nas propriedades da pressão parcial de oxigênio, ao respirar oxigênio puro sob condições hiperbáricas em uma câmara projetada para esse fim. Suas indicações na medicina ainda eram consideradas primárias, complementares ou experimentais, dependendo dos efeitos baseados em evidências. A OHB vinha sendo proposta como uma nova ferramenta para tratamento de diversas condições clínicas, incluindo-se os distúrbios osteomusculares. Após a revisão dos trabalhos selecionados, a conclusão dos autores se iniciou com a afirmação de que parecia que a OHB poderia otimizar o processo de recuperação de músculos, ligamentos ou tendões lesionados, sendo um modelo de tratamento com um potencial de aplicação interessante em doenças do sistema musculoesquelético. No entanto, não existiam até então estudos controlados em humanos que pudessem confirmar essa teoria demonstrada em experiências experimentais e isoladas, com distúrbios muito específicos. Ainda segundo os autores, para garantir o verdadeiro benefício deste tratamento neste campo da medicina seria necessário conduzir estudos muito bem projetados para avaliar o possível impacto na capacidade do atleta lesionado antes de recomendar a OHB. Sugerem ainda que os clínicos não deveriam “cair na tentação” de indicar a OHB antes de uma avaliação rigorosa dos reais efeitos positivos e possíveis efeitos perniciosos na saúde do indivíduo.

Shimoda et al. (2015), investigaram os efeitos da OHB na fadiga muscular após o exercício de flexão plantar intermitente máximo. No estudo, 20 voluntários saudáveis do sexo masculino (com idades entre 21 e 24 anos) foram aleatoriamente designados para o grupo OHB ou normóxico. O grupo OHB respirou 100% de oxigênio sob 2,5 ata por 60 minutos, enquanto o grupo normóxico respirou ar ambiente abaixo de 1,2 ata por 70 minutos. Os sujeitos realizaram um teste de fadiga, que consistia em 50 flexões plantares isométricas unilaterais máximas, antes e após a intervenção, com realização de eletromiografia de superfície que foi registrada no músculo tríceps sural. Os sujeitos realizaram contrações voluntárias máximas das flexões plantares isométricas, e as propriedades contráteis de ativação e contração voluntárias foram avaliadas com estímulos cutâneos do nervo tibial, antes e após a intervenção. Nos resultados, comparado com os valores iniciais nas repetições 4-10, o torque de flexão plantar nas repetições 41-50 diminuiu para 88,5 e 83,2% após o tratamento com OHB e normóxico, respectivamente. Uma diminuição menor na força muscular foi observada no grupo OHB em comparação com o grupo normóxico. Ainda, não foram observadas diferenças na função entre os grupos de tratamento após estimulação nervosa. Sendo assim, os autores concluíram que a OHB contribuiu para a produção sustentada de força devido à supressão da progressão da fadiga muscular e, na prática, a opinião dos autores foi que a OHB pode contribuir para a prevenção do excesso de fadiga dos músculos agonistas em exercícios específicos que envolvem saltos repetidos.

Yamakoshi et al. (2015), testaram a hipótese de que a OHB no músculo diabético exacerbaria a dinâmica hiperóxica da PmvO₂ devido, em parte, a uma redução ou lentidão das respostas cardiovasculares, nervosas simpáticas e do sistema respiratório à exposição aguda à OHB. No estudo,



ratos Wistar machos adultos foram divididos aleatoriamente em grupos diabéticos (DIA: estreptozotocina) e saudáveis (controle). Uma câmara hiperbárica para pequenos animais foi pressurizada com oxigênio (100% de O₂) para 3,0 ata a 0,2 ata / minuto. Técnicas de têmpera por fosforescência foram utilizadas para medir a PmvO₂ no músculo tibial anterior de ratos anestesiados durante a OHB. A atividade do nervo simpático lombar (LSNA), a frequência cardíaca (FC) e a frequência respiratória (RR) foram avaliadas eletrofisiologicamente. Durante a hiperóxia normobárica e OHB o DIA tibial anterior PmvO₂ aumentou mais rápida e significativamente (tempo médio de resposta, CONT 78 ± 8, DIA 55 ± 8 segundos) em comparação ao grupo CONT. Posteriormente, a PmvO₂ permaneceu elevada em níveis semelhantes nos músculos CONT e DIA até a recuperação normobárica normóxica, onde o DIA PmvO₂ manteve seu nível hiperóxico por mais tempo que CONT. O sistema nervoso simpático e as respostas cardíacas e respiratórias à OHB foram mais lentas no DIA comparando ao CONT. Especificamente, os tempos médios de resposta para RR foram maiores após o início da OHB no DIA do que CONT. Em resumo, os autores concluíram que o tratamento com OHB aumenta a PmvO₂ do músculo tibial anterior mais rapidamente e por um período mais longo no DIA do que o CONT, mas não para um nível maior.

Oyaizu e colaboradores (2018), afirmaram em seu artigo que o suposto mecanismo de cura de lesões musculares pela OHB ainda não estava claro. Sendo assim, avaliaram os efeitos da OHB nos músculos contundidos da panturrilha em um modelo de lesão muscular esquelética em ratos. Uma câmara experimental de OHB foi desenvolvida, e os ratos foram tratados com oxigênio a 100%, 2,5 ata por 2 horas / dia após a lesão. Os resultados demonstraram que a OHB reduziu o volume inicial dos membros inferiores e o peso do músculo úmido nos músculos contundidos, e promoveu força isométrica muscular 7 dias após a lesão. Ainda, a OHB suprimiu a elevação de macrófagos circulantes na fase aguda, e acelerou a invasão de macrófagos no músculo contundido. Esse ambiente também aumentou o número de células satélite em proliferação e diferenciação, e a quantidade de fibras musculares regeneradas. Por fim, a OHB, na fase inicial após a lesão, estimulou a via IL-6 / STAT3 nos músculos contundidos. Com base nestes resultados os autores afirmaram que, no modelo experimental desenvolvido, a OHB demonstrou um papel duplo na diminuição da inflamação e na aceleração da miogênese nas lesões por contusão muscular.

Casale et al. (2019), iniciaram o artigo ressaltando que a eficiência neuromuscular (EMN) é prejudicada na fibromialgia (FM), e que a OHB seria capaz de induzir alterações na excitabilidade cortical, com uma conseqüente redução secundária na dor e fadiga muscular. Sendo assim, objetivaram avaliar se a redução da FM, reconhecida como efeito central da OHB, poderia ser detectada diretamente por meio de eletromiografia (EMG) não invasiva. Para tal, 22 pacientes com FM foram submetidos a 20 sessões de OHB em 2,4 ata. A EMG foi registrada em configuração diferencial única no músculo bíceps braquial durante as contrações fatigantes de 30 segundos, utilizando matrizes lineares de oito eletrodos adesivos. Os resultados apontaram que as avaliações realizadas antes e imediatamente após a primeira sessão mostraram que a força máxima não se alterou, sugerindo assim que a OHB não induziu fadiga ou potenciação muscular. Todavia, após as 20 sessões de OHB, a EMN aumentou de 1,6 ± 1,1 para 2,1 ± 0,8 (p = 0,050). Com base nessas afirmações, os autores concluíram que a OHB não melhorou a força muscular ou alterou o conteúdo de fibra muscular, mas melhorou a capacidade do comando motor central de gerar o mesmo esforço com menos fibras recrutadas.

Por fim, para Moghadam et al. (2019), a OHB se constitui em um tratamento bem estabelecido para uma variedade de condições clínicas. Segundo os autores, o tratamento deve ser administrado diariamente pelo período de 1 a 2 horas, a pressões de 2,0 a 2,8 ata, dependendo da indicação, e as



lesões esportivas geralmente são tratadas em 3 a 10 sessões. A OHB foi documentada como eficaz, tendo sido aprovada em 14 indicações médicas pela Sociedade Médica Submarina e Hiperbárica, incluindo, mas não se limitando, a situações de envenenamento por monóxido de carbono, enxertos e retalhos de pele comprometidos, lesões por esmagamento, infecções necrosantes de tecidos moles e úlceras não cicatrizantes com insuficiências arteriais. Recentemente, a OHB para lesões musculoesqueléticas esportivas vem recebendo maior atenção, e acredita-se que possa permitir que atletas lesionados se recuperem mais rapidamente, em comparação aos métodos de reabilitação considerados padrão. Ainda segundo os pesquisadores, qualquer redução no período de reabilitação de atletas colegiados e profissionais pode ser financeiramente significativa para as equipes esportivas de alto nível. Todavia, devido às controvérsias existentes nos resultados já publicados, novos estudos ainda se fazem necessários para comprovar os efeitos da OHB sobre a recuperação de lesões musculoesqueléticas.

Síntese de Evidências

Esta revisão da literatura apontou que existem alguns benefícios relacionados à OHB no tocante à recuperação de lesões musculoesqueléticas, todavia comprovadas apenas em modelos animais. Por exemplo, foi citado um papel positivo da OHB na aceleração da recuperação após lesão aguda por estiramento muscular em ratos, assim como um papel duplo na diminuição da inflamação e na aceleração da miogênese nas lesões por contusão nesses animais. Ainda em ratos, a OHB melhorou o estado geral de músculos lesionados formados basicamente por fibras de contração lenta.

Todavia, estudos em humanos demonstraram que a OHB não foi eficaz no tratamento de lesões musculares induzidas pelo exercício, no tratamento de dor muscular tardia, tão pouco na recuperação após exercícios excêntricos que induziram dor muscular temporária.

Algum efeito positivo foi observado na prevenção do excesso de fadiga dos músculos agonistas em exercícios específicos que envolvem saltos repetidos, e embora a OHB não tenha melhorado a força muscular ou alterado positivamente o conteúdo de fibras musculares, ela parece ter melhorado a capacidade do comando motor central de gerar o mesmo esforço com menos fibras recrutadas em pacientes portadores de fibromialgia.

Por fim, sugere-se uma avaliação rigorosa dos reais efeitos positivos, além dos possíveis efeitos deletérios relacionados ao emprego da OHB na prática clínica. Nesse sentido, ainda são necessários estudos controlados, multicêntricos e de larga escala envolvendo seres humanos para avaliar se efetivamente existem efeitos benéficos relacionados no tocante ao uso da OHB no reparo de lesões musculoesqueléticas.

Referências

BABUL, S. Hyperbaric oxygen therapy to enhance recovery from delayed onset muscle soreness. **Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine**, v. 10, n. 4, p. 308, 2000.

BENNETT, M. H.; MITCHELL, S. J. Emerging indications for hyperbaric oxygen. **Current Opinion in Anesthesiology**, v. 32, n. 6, p. 792–798, 2019.

BEST, T. M. et al. Hyperbaric oxygen in the treatment of acute muscle stretch injuries. Results in an animal model. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 26, n. 3, p. 367–372, 1998.



CASALE, R. et al. Neuromuscular efficiency in fibromyalgia is improved by hyperbaric oxygen therapy: looking inside muscles by means of surface electromyography. **Clinical and Experimental Rheumatology**, v. 37 Suppl 116, n. 1, p. 75–80, 2019.

CONTRERAS-MUÑOZ, P. et al. A New Surgical Model of Skeletal Muscle Injuries in Rats Reproduces Human Sports Lesions. **International Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 3, p. 183–190, 2016.

DROBNIC, F.; TURMO, A. Hyperbaric oxygen treatment of musculoskeletal disorders on the sports medicine. State of the art. **Medicina Clinica**, v. 134, n. 7, p. 312–315, 2010.

FERRAZ, R. R. N. Como inserir citações e listar as referências do meu trabalho acadêmico de maneira automatizada? In: **Redação Científica, Princípios de Estatística e Bases de Epidemiologia para simples mortais**. 1. ed. Erechim: Deviant, 2016. p. 313.

GERMAIN, G. et al. Effect of hyperbaric oxygen therapy on exercise-induced muscle soreness. **Undersea & Hyperbaric Medicine: Journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc**, v. 30, n. 2, p. 135–145, 2003.

GREGOREVIC, P.; WILLIAMS, D. A.; LYNCH, G. S. Hyperbaric oxygen increases the contractile function of regenerating rat slow muscles. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 4, p. 630–636, 2002.

HARRISON, B. C. et al. Treatment of exercise-induced muscle injury via hyperbaric oxygen therapy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 33, n. 1, p. 36–42, 2001.

LÖNDAHL, M.; BOULTON, A. J. M. Hyperbaric oxygen therapy: Useless or useful? A battle. **Diabetes/Metabolism Research and Reviews**, p. e3233, 2020.

MEKJAVIC, I. B. et al. Hyperbaric oxygen therapy does not affect recovery from delayed onset muscle soreness. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 3, p. 558–563, 2000.

MOGHADAM, N. et al. Hyperbaric Oxygen Therapy in Sports Musculoskeletal Injuries. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, p. in press, 2019.

OYAIZU, T. et al. Hyperbaric oxygen reduces inflammation, oxygenates injured muscle, and regenerates skeletal muscle via macrophage and satellite cell activation. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1288, 2018.

SHIMODA, M. et al. Effects of hyperbaric oxygen on muscle fatigue after maximal intermittent plantar flexion exercise. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 6, p. 1648–1656, 2015.

WEBSTER, A. L. et al. Effects of hyperbaric oxygen on recovery from exercise-induced muscle damage in humans. **Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine**, v. 12, n. 3, p. 139–150, 2002.



YAMAKOSHI, K. et al. Microvascular oxygen partial pressure during hyperbaric oxygen in diabetic rat skeletal muscle. **American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 309, n. 12, p. R1512-1520, 2015.

ZOTERO. **Your personal research assistant**. Disponível em: <<https://www.zotero.org/>>. Acesso em: 3 dez. 2018.