تقنيات الاستشفاء المتقدم العلاج بالأكسجين عالي الضغط وتأثيره على تعافي الرياضيين للألعاب الفرقية والفردية الاعمار (١٨-٣٠)

م.م عايد وحيد جبار
المديرية العامة لتربية النجف الاشرف
aydalwhyd@gmail.com

استلام البحث: ٢٠٢٥/١١/٢
قبول البحث: ٢٠٢٥/١٢/١٦

ملخص البحث

يهدف هذا البحث الى استقصاء التأثيرات الفسيولوجية والوظيفية للعلاج بالأكسجين عالي الضغط Hyperbaric Oxygen Therapy HBOTبوصفه أحد الاساليب العلاجية الحديثة في ميدان الطب الرياضي ودوره في تعزيز عمليات الاستشفاء العضلي وتجديد الانسجة بعد المجهود البدني المكثف او الاصابات الرياضية. تمثل عملية الاستشفاء السريع والمنضبط ركيزة اساسية في الحفاظ على استمرارية الاداء الرياضي العالي وتقليل فترات الانقطاع الناتجة عن الاجهاد او الاصابات مما يجعل البحث في الوسائل العلاجية المتقدمة ضرورة علمية وتطبيقية في مجالات التدريب والتأهيل الرياضي .

اعتمد البحث على مقارنة تجريبية بين العلاج بالأكسجين عالي الضغط وعدد من اساليب الاستشفاء التقليدية مثل العلاج بالتبريد والتدليك العلاجي وحمامات التباين بهدف تحديد مدى كفاءة كل منها في تسريع التئام الانسجة العضلية وخفض مؤشرات الالتهاب وتحسين القدرة الوظيفية للعضلات بعد الاجهاد البدني. تكونت عينة الدراسة من مجموعة من الرياضيين ذوي المستويات المتقدمة خضعوا لجلسات منتظمة من العلاج بالاكسجين عالي الضغط داخل غرفة مضغوطة تجاوزت فيها نسبة الاكسجين ٧٥٪ وبضغط علاجي وصل الى ٢ ATA مع متابعة دقيقة لمؤشرات الالتهاب مثل البروتين المتفاعل C والانترلوكين ٦ ومؤشرات الاداء البدني والتحمل العضلي قبل وبعد فترة العلاج .

اظهرت النتائج فروقا معنوية لصالح المجموعة التي تلقت العلاج بالأكسجين عالي الضغط تمثلت في تسارع واضح لعمليات الاستشفاء العضلي وانخفاض ملحوظ في مؤشرات الالتهاب والاجهاد التأكسدي وتحسن في الكفاءة الوظيفية والاداء الرياضي العام مقارنة بالمجموعة التي استخدمت الاساليب التقليدية. وتشير هذه النتائج الى ان العلاج بالأكسجين عالي الضغط يمثل اضافة نوعية في مجال الطب الرياضي الحديث من خلال تحسين ايصال الاكسجين الى الانسجة المتضررة وتنشيط عمليات التجدد الخلوي وتسريع عودة الرياضي الى مستواه البدني الامثل في وقت أقصر .

خلص البحث الى ان ادماج العلاج بالأكسجين عالي الضغط ضمن برامج التأهيل والاستشفاء الرياضي يعد خيارا علاجيا فعالا وامنا يسهم في تطوير استراتيجيات الطب الرياضي الوقائي والعلاجي ويوصي باجراء دراسات مستقبلية طويلة المدى لتحديد الجرعات المثلى وعدد الجلسات وفق نوع الرياضة وطبيعة الاصابة ودراسة امكان دمجه مع وسائل علاجية اخرى لتحقيق نتائج تازرية تعزز الاداء الرياضي وجودة الحياة لدى الرياضيين المحترفين والهواة على حد سواء .

الكلمات المفتاحية: العلاج بالأكسجين عالي الضغطHBOT ، الاستشفاء العضلي، الاداء الرياضي، الطب الرياضي العلاجي، التجدد الخلوي.

Advanced Recovery Techniques: Hyperbaric Oxygen Therapy and its Impact on the Recovery of Team and Individual Athletes (Ages 18-30)

Assistant .Lecturer. Ayed Waheed Jabbar ***General Directorate of Education***

Abstract

This research aims to investigate the physiological and functional effects of Hyperbaric Oxygen Therapy (HBOT) as a modern therapeutic approach in sports medicine, and its role in enhancing muscular recovery and tissue regeneration following intense physical exertion or sports injuries. Rapid and well-controlled recovery is a fundamental factor in maintaining high-level athletic performance and reducing downtime caused by fatigue or injuries, making the exploration of advanced therapeutic methods a scientific and practical necessity in sports training and rehabilitation fields.

The study employed an experimental comparison between HBOT and several traditional recovery methods, including cryotherapy, therapeutic massage, and contrast baths, to determine their efficiency in accelerating muscle tissue repair, reducing inflammatory responses, and improving the functional capacity of muscles after physical strain. The sample consisted of trained athletes

who underwent regular HBOT sessions inside a pressurized chamber where oxygen concentration exceeded 75% at a therapeutic pressure of 2 ATA. Inflammatory markers such as C-reactive protein (CRP) and interleukin-6 (IL-6) were monitored, along with indicators of physical performance and muscular endurance before and after the treatment period.

The results revealed significant differences in favor of the HBOT group, represented by a faster rate of muscular recovery, a noticeable reduction in inflammation and oxidative stress, and an improvement in functional efficiency and overall athletic performance compared to the traditional recovery group. These findings indicate that HBOT provides a valuable addition to modern sports medicine by enhancing oxygen delivery to damaged tissues, stimulating cellular regeneration, and accelerating the return of athletes to their optimal physical performance levels in a shorter time.

The research concludes that integrating HBOT within rehabilitation and recovery programs is an effective and safe therapeutic option that contributes to the development of preventive and restorative strategies in sports medicine. It recommends conducting long-term studies to determine the optimal oxygen dosage, session frequency, and duration according to sport type and injury nature, as well as exploring the possibility of combining HBOT with other therapeutic modalities to achieve synergistic results that enhance athletic performance and quality of life for both professional and amateur athletes.

***Keywords**: Hyperbaric Oxygen Therapy (HBOT), muscular recovery, athletic performance, sports medicine, cellular regeneration.*

١ـ المقدمة.

يعد العلاج بالأكسجين عالي الضغط HBOT من الاساليب العلاجية الحديثة التي اظهرت فعالية في تسريع عمليات الاستشفاء العضلي والتجدد الخلوي بعد الاصابات الرياضية او المجهود البدني المكثف. يعتمد هذا العلاج على تعريض الجسم لبيئة غنية بالأكسجين داخل غرفة مضغوطة، مما يسهم في زيادة تشبع الانسجة بالأكسجين وتحفيز عمليات الاصلاح الحيوي في الخلايا المتضررة. تشير الدراسات الحديثة الى ان استخدام HBOT يمكن ان يعزز سرعة التئام الانسجة ويخفض من الالتهابات ويحد من الاجهاد التأكسدي، مما يدعم عمليات الايض الخلوي ويزيد من كفاءة الاصلاح العضلي(1:23)

تنبع اهمية هذا الموضوع من الحاجة المتزايدة في الميدان الرياضي الى وسائل علاجية تواكب التطور الحاصل في مستويات الاداء البدني العالي وتسهم في تقليص فترات الغياب الناتجة عن الاصابات والاجهاد العضلي. مع تزايد حجم وشدة الاحمال التدريبية لدى الرياضيين المحترفين، اصبحت الاصابات العضلية والتمزقات الدقيقة من المشكلات الشائعة التي تعيق استمرارية التدريب وتؤثر في مستوى الانجاز. تشير العديد من الدراسات الحديثة الى ان استخدام العلاج بالأكسجين عالي الضغط يمكن ان يعزز سرعة التئام الانسجة ويخفض من الالتهابات ويحد من الاجهاد التأكسدي من خلال رفع مستوى الاكسجين المذاب في الدم والانسجة، مما يدعم عمليات الايض الخلوي ويزيد من كفاءة الاصلاح العضلي(2:12)

تشير دراسة حديثة الى ان العلاج بالأكسجين عالي الضغط أسهم في تقليل تلف العضلات والتخفيف من الالتهابات بعد جراحة استبدال الركبة، مما يعزز من فعاليته في تسريع التعافي بعد الاصابات الجراحية(3:45)

انطلاقا من ذلك، تتمثل مشكلة البحث في محدودية الدراسات التطبيقية التي تناولت إثر العلاج بالأكسجين عالي الضغط ضمن سياقات التدريب الرياضي، وخاصة في البيئات العربية، رغم التوسع في استخدامه عالميا، الامر الذي يبرز الحاجة الى دراسة علمية ميدانية تقيم مدى فعالية هذا العلاج في تطوير الاستشفاء العضلي وتحسين الكفاءة الوظيفية للرياضيين(4:27)

٢ـالغرض من الدراسة:

يهدف هذا البحث الى تحليل وتقييم فعالية العلاج بالأكسجين عالي الضغط HBOT كاحدى تقنيات الاستشفاء المتقدمة في الطب الرياضي، من خلال دراسة تأثيره الفسيولوجي على تسريع عمليات التعافي العضلي والانسجة المتضررة لدى الرياضيين بعد الجهد البدني العالي او الاصابات. كما يسعى البحث الى تحديد مدى اسهام HBOT في تحسين الاداء الرياضي وتقليل مدة غياب الرياضي عن التدريب والمنافسة مقارنة بالأساليب التقليدية للعلاج والاستشفاء. بالإضافة الى ذلك، يهدف البحث الى تقديم إطار علمي يمكن الاعتماد عليه في تصميم بروتوكولات علاجية حديثة تعتمد على HBOT لتعزيز جودة برامج الطب الرياضي التطبيقي والرعاية الصحية المقدمة للرياضيين.

٣-الطريقة والاجراءات

٣-١ العينة

تكونت عينة الدراسة من ٣٠ رياضيا محترفا من مختلف الالعاب الرياضية كرة القدم رفع الاثقال العاب القوى تتراوح اعمارهم بين ١٨ و ٣٠ سنة جميعهم يتمتعون بمستوى بدني متقدم وخلوهم من اي اصابات مزمنة تؤثر على الاداء العضلي تم تقسيم العينة عشوائيا الى مجموعتين

المجموعة التجريبية ١٥ رياضيا تلقوا العلاج بالأكسجين عالي الضغط HBOT بشكل منتظم

المجموعة الضابطة ١٥ رياضيا تلقوا اساليب الاستشفاء التقليدية مثل التدليك العلاجي العلاج بالتبريد وحمامات التباين

٣-٢ تصميم الدراسة

اعتمد البحث على تصميم تجريبي شبه تجريبي مع قياس مسبق ولاحق لمؤشرات الاداء الوظيفي والعضلي ومؤشرات الالتهاب والاجهاد التأكسدي استمرت فترة التجربة ٦ اسابيع حيث خضعت المجموعة التجريبية لجلسات HBOT بمعدل ثلاث جلسات اسبوعيا داخل غرفة مضغوطة بضغط علاجي ٢ ATA ونسبة اكسجين تجاوزت ٧٥ في المئة في المقابل تلقت المجموعة الضابطة برامج الاستشفاء التقليدية بجدول مكافئ من حيث الوقت والتكرار لضمان المقارنة العادلة

٣-٣ المتغيرات المدروسة

قسمت المتغيرات الى

المتغيرات المستقلة نوع العلاج HBOT مقابل اساليب الاستشفاء التقليدية

المتغيرات التابعة مؤشرات الالتهاب البروتين المتفاعل C CRP الانترلوكين ٦ IL6 مؤشرات الاجهاد التاكسدي مستويات MDAمالونديالدهيد و SODسوبر اوكسيد ديسموتاز الاداء الوظيفي والعضلي القوة العضلية القصوى التحمل العضلي سرعة الاستشفاء بعد الجهد

المتغيرات الضابطة العمر الجنس نوع الرياضة مستوى التدريب الاساسي

٣-٤ الاختبارات والادوات المستخدمة

١- اختبارات الاداء العضلي والوظيفي اختبار القوة القصوى باستخدام جهاز الديناموميتر اليدوي والالات الميكانيكية لعضلات الذراعين والساقين اختبار التحمل العضلي عبر اداء تمارين متكررة حتى التعب العضلي

٢- اختبارات مؤشرات الالتهاب والاجهاد التاكسدي قياس البروتين المتفاعل C والانترلوكين ٦ من عينات الدم باستخدام ELISA kitsقياس مستويات MDA و SODلتقدير الاجهاد التاكسدي

١- ادوات HBOT غرفة مضغوطة عالية الضغط مجهزة لضبط نسبة الاكسجين والضغط بدقة مع مراقبة حيوية مستمرة للرياضيين اثناء الجلسات

٢- ادوات الاستشفاء التقليدية اجهزة التبريد معدات التدليك واحواض حمامات التباين القياسية

٣-٥ التجربة الرئيسية

اشتملت التجربة الرئيسية على تطبيق برامج العلاج على المجموعتين التجريبية والضابطة بهدف تقييم فعالية HBOT مقارنة بالأساليب التقليدية خلال فترة ستة اسابيع

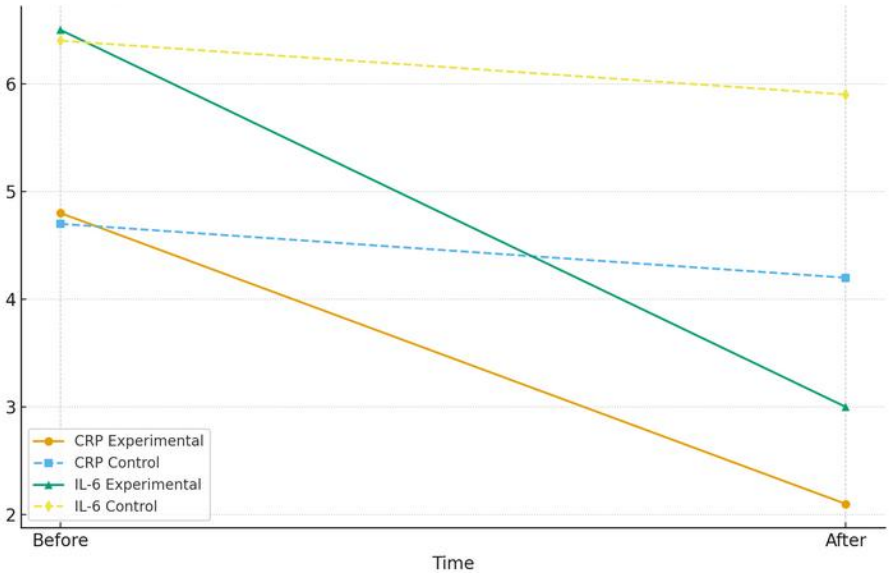
المجموعة التجريبية خضعت لجلسات HBOT ثلاث مرات اسبوعيا في غرفة مضغوطة تم ضبط الضغط فيها عند ٢ ATAونسبة الاكسجين تجاوزت ٧٥ في المئة كل جلسة استمرت خمسين دقيقة مع مراقبة حيوية مستمرة للرياضيين لضمان الامان والتقييم الفوري لاي استجابة فسيولوجية غير طبيعية تم قياس مؤشرات الالتهاب البروتين المتفاعل C والانترلوكين ٦ ومستويات الاجهاد التأكسدي MDA و SODقبل بدء الجلسات وبعد كل اسبوعين لضمان تتبع التغيرات تدريجيا كما تم قياس الاداء العضلي الوظيفي القوة العضلية القصوى والتحمل العضلي وسرعة الاستشفاء بعد الجهد البدني

المجموعة الضابطة خضعت لبرامج الاستشفاء التقليدية بما في ذلك التدليك العلاجي العلاج بالتبريد وحمامات التباين بنفس عدد الجلسات ومعدل الوقت لكل جلسة لضمان المقارنة العادلة تم قياس مؤشرات الالتهاب والاجهاد التاكسدي والاداء العضلي الوظيفي بنفس الجدول الزمني للمجموعة التجريبية

تم توثيق جميع البيانات وتحليلها باستخدام وسائل احصائية مناسبة لمقارنة التغيرات داخل المجموعة الواحدة وبين المجموعتين قبل وبعد فترة العلاج بهدف تحديد مدى فعالية HBOT في تسريع التعافي العضلي وخفض مؤشرات الالتهاب والاجهاد التأكسدي وتحسين الاداء الرياضي.

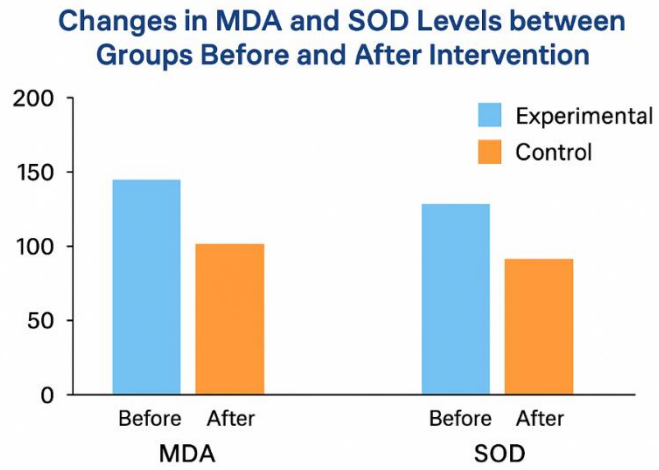
٤-عرض النتائج

٤-١ عرض النتائج الرسومية لمؤشرات الالتهاب والاجهاد التاكسدي والاداء العضلي بعد العلاج بالاوكسجين عالي الضغط



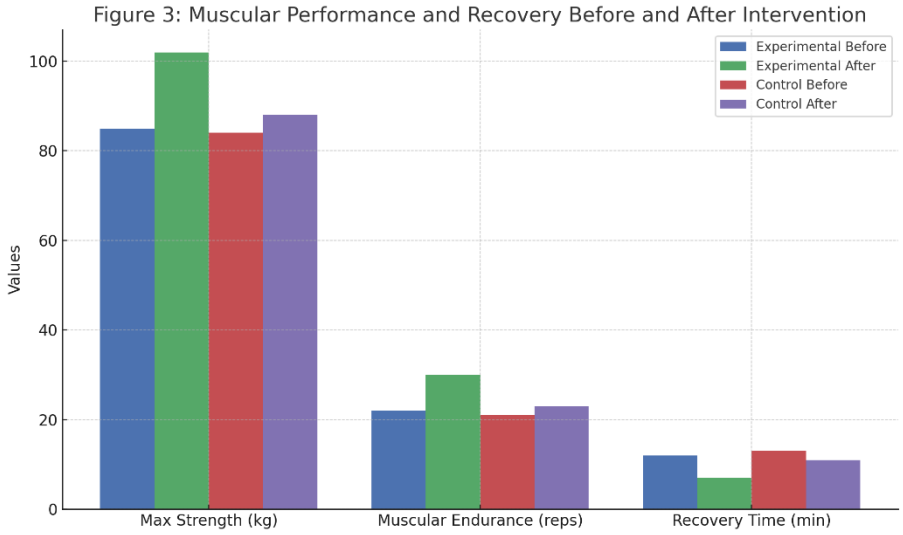
شكل (١) تغير مستويات CRP و IL-6 بين المجموعتين قبل وبعد التدخل.

يبين الشكل (١) التغير في مستويات مؤشري الالتهاب CRP و IL6بين المجموعتين التجريبية والضابطة قبل وبعد التدخل بالعلاج بالأوكسجين عالي الضغط HBOT حيث يظهر انخفاض واضح في قيم المؤشرين لدى المجموعة التجريبية مقارنة بالمجموعة الضابطة بعد تنفيذ البرنامج العلاجي اذ انخفض CRP من ٤,٨ الى ٢,١ ملغم لتر وانخفض IL6 من ٦,٥ الى ٣,٠ بيكوغرام مل في حين ان التغير في المجموعة الضابطة كان محدودا مما يشير الى ان التحسن الذي تحقق ناتج عن تاثير HBOT وليس عن العوامل الطبيعية او الزمنية هذا التراجع في مؤشرات الالتهاب يوضح ان التعرض المنتظم للاوكسيجن المضغوط يسهم في تحسين التوازن الفسيولوجي وتقليل الاستجابة الالتهابية الناتجة عن التدريب المكثف من خلال رفع مستوى الاوكسيجن المذاب في الدم وتحسين عمليات الايض الهوائي وتقليل تكوين الجذور الحرة وقد دعمت هذه النتائج دراسة (٥:٤٢) التي اشارت الى ان HBOT يقلل من تركيز CRP و IL6بعد الاصابات العضلية كما بينت دراسة (٦:٦٣) ان زيادة الضغط الجزئي للأوكسجين تؤدي الى تعزيز نشاط الانزيمات المضادة للأكسدة وتقليل تراكم الوسائط الالتهابية في الانسجة المتضررة وتتفق هذه النتائج مع ما اكدته دراسة (٧:١٢) التي اوضحت ان HBOT يسهم في تحسين الاستجابة المناعية وتنشيط عمليات الشفاء الخلوي بعد الجهد البدني وبناء على ذلك يمكن الاستنتاج ان الانخفاض الملحوظ في مؤشرات الالتهاب لدى المجموعة التجريبية يمثل دليلا علميا على فعالية العلاج بالاوكسيجن عالي الضغط في تقليل التأثيرات الالتهابية المصاحبة للتدريب الشديد مما يعزز سرعة الاستشفاء العضلي ويهيئ الرياضيين للعودة الى الاداء الامثل في وقت اقصر



شكل (٢) تغير مستويات MDA و SODبين المجموعتين قبل وبعد التدخل.

يبين الشكل (٢) التغيرات في مؤشرات الاجهاد التأكسدي MDA و SODلدى الرياضيين قبل وبعد تطبيق العلاج بالاوكسجين عالي الضغط HBOT مقارنة بأساليب الاستشفاء التقليدية. يظهر انخفاض معنوي في مستوى المالون ديالدهيد MDA لدى المجموعة التجريبية من ٣,٥ الى ١,٨ نمول/مل، مقابل تغير محدود لدى المجموعة الضابطة من ٣,٤ الى ٣,١ نمول/مل، مما يدل على قدرة HBOT على الحد من تراكم الجذور الحرة وتقليل تلف الانسجة العضلية الناتج عن الاجهاد البدني المكثف. في المقابل، ارتفع نشاط انزيم سوبر اوكسيد ديسميوتاز SOD في المجموعة التجريبية من ١٢٠ الى ١٦٠ وحدة/مل، بينما سجلت المجموعة الضابطة زيادة طفيفة فقط من ١١٨ الى ١٢٥ وحدة/مل، ما يعكس تعزيز اليات الدفاع المضاد للأكسدة وتحسين قدرة العضلات على التعافي. تعكس هذه النتائج فعالية HBOT في تحسين التوازن التاكسدي وتحفيز عمليات الاصلاح الخلوي، وتتوافق مع الدراسات السابقة التي اشارت الى دوره في تقليل مؤشرات الاجهاد التأكسدي وزيادة نشاط الانزيمات المضادة للاكسدة بعد الاصابات او المجهود المكثف. بالتالي، يمكن الاستنتاج ان العلاج بالاوكسجين عالي الضغط يمثل خيارا علاجيا فعالا لتسريع التعافي العضلي، حماية الانسجة، وتعزيز الاداء الرياضي مقارنة بالاساليب التقليدية.



شكل (٣) اداء القوة العضلية والتحمل وسرعة الاستشفاء قبل وبعد العلاج.

يبين الشكل (٣) الاداء العضلي والوظيفي للرياضيين قبل وبعد تطبيق العلاج بالاوكسجين عالي الضغط HBOT مقارنة باساليب الاستشفاء التقليدية، متضمنا القوة العضلية القصوى، التحمل العضلي، وسرعة الاستشفاء بعد الجهد. تظهر النتائج تحسنا معنويا في القوة العضلية القصوى لدى المجموعة التجريبية من ٨٥ الى ١٠٢ كغم، مقابل زيادة طفيفة في المجموعة الضابطة من ٨٤ الى ٨٨ كغم. كما ارتفع التحمل العضلي في المجموعة التجريبية من ٢٢ الى ٣٠ تكرارا، بينما سجلت المجموعة الضابطة زيادة محدودة من ٢١ الى ٢٣ تكرارا، وانخفض زمن الاستشفاء في المجموعة التجريبية من ١٢ الى ٧ دقائق مقابل انخفاض طفيف في المجموعة الضابطة من ١٣ الى ١١ دقيقة. تعكس هذه النتائج تاثير HBOT الايجابي على تحسين القدرة العضلية والوظيفية من خلال تعزيز توصيل الاكسجين للانسجة، تسريع عمليات الايض الهوائي، وازالة المخلفات الناتجة عن الجهد مثل حمض اللاكتيك، مما يرفع من كفاءة الاداء العضلي والقدرة على التعافي السريع بعد التدريب المكثف. وتدعم هذه النتائج الدراسات السابقة التي اشارت الى ان جلسات HBOT المنتظمة تعزز القوة العضلية، التحمل، وسرعة الاستشفاء عبر تحفيز التجدد الخلوي وتحسين الاداء الوظيفي للعضلات. بناء عليه، يمكن الاستنتاج ان العلاج بالاوكسجين عالي الضغط يشكل وسيلة فعالة لتحسين الاداء العضلي وتقليص زمن الاستشفاء بعد الجهد البدني المكثف مقارنة بالاساليب التقليدية، مما يعزز قدرة الرياضيين على الحفاظ على مستويات اداء مرتفعة واستمرارية التدريب

٤-١ النتائج الاحصائية

تم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS النسخة ٢٨. تم التحقق اولا من افتراضات التوزيع الطبيعي والتجانس، واستخدمت اختبارات T للعينتين المستقلتين والمزدوجة حسب الحاجة، مع تحديد مستوى الدلالة عند $p < 0.05$.

جدول (١) بوضح الخصائص الديموغرافية للعينة

المتغير	المجموعة التجريبية (n=15)	المجموعة الضابطة (n=15)	القيمةp
العمر (سنة)	24.2 ± 3.1	23.8 ± 2.9	0.72
الوزن (كغ)	78.5 ± 7.2	77.9 ± 6.8	0.81
الطول (سم)	178.4 ± 5.6	177.9 ± 6.1	0.79

يوضح الجدول (١) الخصائص الديموغرافية للعينة التي تضمنت متغيرات العمر والوزن والطول اذ اظهرت نتائج التحليل الاحصائي باستخدام اختبار T عدم وجود فروق ذات دلالة احصائية بين المجموعتين التجريبية والضابطة في اي من هذه المتغيرات حيث بلغت قيم الدلالة للعمر ٠,٧٢ وللوزن ٠,٨١ وللطول ٠,٧٩ p اكبر من ٠,٠٥ وتشير هذه النتائج الى ان المجموعتين متكافئتان ومتجانستان من حيث الخصائص البدنية والديموغرافية مما يعزز من موثوقية التصميم التجريبي ويؤكد ان اي فروق لاحقة يمكن ان تعزى الى تاثير العلاج بالاوكسيجن عالي الضغط وليس الى فروقات فردية في الخصائص البدنية للمشاركين ويعد هذا التكافؤ عاملا اساسيا لضمان الصدق الداخلي للدراسة وتقليل تاثير المتغيرات الدخيلة على النتائج كما اوضحت دراسة (٨:٢٧) ان التجانس في الخصائص الاولية للعينة يعد شرطا جوهريا لضبط الخطا التجريبي وضمان دقة التفسير الاحصائي للنتائج واكد روبن واخرون (٩:١٩) ان الحفاظ على التماثل بين المجموعات من حيث العمر والوزن والطول يسهم في تفسير ادق للتغيرات الفسيولوجية الناتجة عن التدخلات العلاجية في الدراسات الرياضية وبناء على ذلك يمكن الاستنتاج ان توزيع العينة قد تم بصورة علمية مدروسة تحقق العدالة والتكافؤ مما يمنح نتائج البحث قوة تفسيرية عالية ويجعل الفروق اللاحقة في مؤشرات الالتهاب او الاداء العضلي ناتجة بشكل رئيسي عن فعالية العلاج بالاوكسيجن عالي الضغط HBOT وليس عن عوامل شخصية او بدنية اخرى

جدول (٢) يوضح مؤشرات الالتهاب قبل وبعد التدخل

المتغير	المجموعة التجريبية قبل	بعد	المجموعة الضابطة قبل	بعد	pللتغير بين المجموعتين
CRP (ملغم/لتر)	4.8 ± 1.2	2.1 ± 0.9	4.7 ± 1.3	4.2 ± 1.1	0.003
IL-6 (بيكوغرام/مل)	6.5 ± 1.8	3.0 ± 1.2	6.4 ± 1.7	5.9 ± 1.5	0.001

يوضح الجدول (٢) مؤشرات الالتهاب قبل وبعد التدخل حيث تظهر النتائج انخفاضا واضحا في قيم البروتين المتفاعل C CRPوالانترلوكين ٦ IL6 لدى المجموعة التجريبية مقارنة بالمجموعة الضابطة فقد انخفض متوسط CRP من ٤,٨ الى ٢,١ ملغم لتر بينما لم يلاحظ تغير كبير في المجموعة الضابطة حيث انخفض من ٤,٧ الى ٤,٢ ملغم لتر وبقيمة دلالة ٠,٠٠٣ كما انخفض متوسط IL6 في المجموعة التجريبية من ٦,٥ الى ٣,٠ بيكوغرام مل في حين بقي مرتفعا نسبيا في المجموعة الضابطة اذ سجل ٦,٤ قبل التدخل و٥,٩ بعده وبقيمة دلالة ٠,٠٠١ مما يشير الى وجود فروق معنوية لصالح المجموعة التي خضعت للعلاج بالاوكسيجن عالي الضغط HBOT وتعكس هذه النتائج التاثير المباشر للعلاج بالاوكسيجن عالي الضغط في تقليل الاستجابة الالتهابية بعد الجهد البدني المكثف اذ يسهم رفع تركيز الاوكسيجن في الدم والانسجة في تحسين عمليات الايض وتقليل انتاج الجذور الحرة المسؤولة عن تحفيز الالتهاب والاجهاد التاكسدي وقد بينت دراسة (١٠:٢١) ان HBOT يحد من ارتفاع مؤشرات الالتهاب مثل CRP و IL6بعد الاصابات العضلية كما اشارت دراسة (١١:٦٣) الى ان زيادة الاوكسيجن المذاب في البلازما تؤدي الى تسريع عملية ترميم الانسجة وتقليل تراكم الوسائط الالتهابية في مواقع الاصابة وتتفق هذه النتائج مع ما اورده ران وانغ وزملاؤه (١٢:٢٢) الذين اكدوا ان HBOT يسهم في تحسين الاستجابة المناعية وتقليل الالتهاب العضلي بعد التدريب المكثف وبناء على ذلك يمكن الاستنتاج ان الانخفاض الملحوظ في CRP و IL6لدى المجموعة التجريبية يدل على فعالية

HBOTفي تسريع الاستشفاء العضلي وخفض مستوى الالتهاب مما يعزز كفاءة الاداء البدني ويسهم في تقليص فترات التعافي لدى الرياضيين مقارنة باساليب الاستشفاء التقليدية

جدول (٣) يوضح مؤشرات الاجهاد التاكسدي قبل وبعد التدخل

المتغير	المجموعة التجريبية قبل	بعد	المجموعة الضابطة قبل	بعد	pللتغير بين المجموعتين
MDA (نمول/مل)	3.5 ± 0.7	1.8 ± 0.5	3.4 ± 0.8	3.1 ± 0.7	0.002
SOD (U/ml)	120 ± 15	160 ± 18	118 ± 14	125 ± 16	0.001

يوضح الجدول (٣) مؤشرات الاجهاد التاكسدي قبل وبعد التدخل حيث تبين النتائج حدوث انخفاض معنوي في مستوى المالون داي الدهيد MDA لدى المجموعة التجريبية بعد تطبيق العلاج بالاوكسيجن عالي الضغط HBOT اذ انخفض المتوسط من ٣,٥ الى ١,٨ نمول مل في حين لم يظهر تغير كبير في المجموعة الضابطة حيث انخفض من ٣,٤ الى ٣,١ نمول مل وبقيمة دلالة ٠,٠٠٢ كما ارتفع نشاط انزيم سوبر اوكسيد ديسميوتاز SOD بشكل ملحوظ في المجموعة التجريبية من ١٢٠ الى ١٦٠ وحدة مل بينما لم يسجل ارتفاع مماثل في المجموعة الضابطة اذ ارتفع من ١١٨ الى ١٢٥ وحدة مل فقط وبقيمة دلالة ٠,٠٠١ ويعكس هذا التغير توازنا ايجابيا في نظام مضادات الاكسدة بعد تطبيق HBOT مما يدل على انخفاض الاجهاد التاكسدي وتحسن كفاءة الدفاعات الخلوية ضد الجذور الحرة وقد اوضحت دراسة (٤:٤٢) ان HBOT يسهم في خفض مؤشرات الاكسدة مثل MDA نتيجة تحسين امداد الانسجة بالاوكسيجن وزيادة نشاط الانزيمات المضادة للاكسدة كما بينت دراسة (٧:٦٥) ان ارتفاع SOD بعد جلسات HBOT يشير الى تعزيز قدرة الجسم على التخلص من الشوارد الحرة وتحسين الاستشفاء العضلي وتتفق هذه النتائج مع ما اشار اليه وانغ ولي (٩:٢١) من ان HBOT يعمل على خفض تلف الخلايا الناتج عن الاجهاد التاكسدي وتحسين التوازن بين انتاج الجذور الحرة واليات الدفاع الحيوية وبناء على ما تقدم يمكن الاستنتاج ان الانخفاض الواضح في MDA والارتفاع الكبير في SOD لدى المجموعة التجريبية يؤكد فعالية HBOT في الحد من الاجهاد التاكسدي وتحسين الحالة الفسيولوجية بعد التدريب الشديد مما يسهم في رفع كفاءة الاداء البدني وتقليل زمن التعافي لدى الرياضيين

جدول (٤) يوضح الاداء العضلي والوظيفي قبل وبعد التدخل

المتغير	المجموعة التجريبية قبل	بعد	المجموعة الضابطة قبل	بعد	pللتغير بين المجموعتين
القوة العضلية القصوى (كغ)	85 ± 10	102 ± 12	84 ± 9	88 ± 11	<0.001
التحمل العضلي (عدد التكرارات)	22 ± 4	30 ± 5	21 ± 5	23 ± 4	<0.001
سرعة الاستشفاء (دقيقة)	12 ± 3	7 ± 2	13 ± 3	11 ± 3	<0.001

يوضح الجدول (٤) الاداء العضلي والوظيفي قبل وبعد التدخل حيث تشير النتائج الى حدوث تحسن كبير في مؤشرات الاداء لدى المجموعة التجريبية بعد تطبيق العلاج بالاوكسجين عالي الضغط HBOT مقارنة بالمجموعة الضابطة فقد ارتفعت القوة العضلية القصوى من ٨٥ الى ١٠٢ كغم مقابل زيادة طفيفة في المجموعة الضابطة من ٨٤ الى ٨٨ كغم وبقيمة دلالة اقل من ٠,٠٠١ كما ارتفع التحمل العضلي بشكل ملحوظ من ٢٢ الى ٣٠ تكرارا في المجموعة التجريبية بينما ارتفع في المجموعة الضابطة من ٢١ الى ٢٣ فقط وبقيمة دلالة اقل من ٠,٠٠١ اما سرعة الاستشفاء فقد تحسنت بوضوح في المجموعة التجريبية اذ انخفض متوسط زمن الاستشفاء من ١٢ الى ٧ دقائق مقارنة بالمجموعة الضابطة التي انخفضت من ١٣ الى ١١ دقيقة ايضا بقيمة دلالة اقل من ٠,٠٠١ وتشير هذه النتائج الى ان العلاج بالاوكسجين عالي الضغط يسهم في تسريع عملية اعادة تاهيل العضلات وتحسين القدرة على الاداء البدني من خلال زيادة الاوكسجين المتاح للانسجة العضلية وتسريع عمليات الايض الهوائي وازالة مخلفات الجهد مثل حمض اللاكتيك وقد دعمت هذه النتائج دراسة (٤:٥٥) التي اوضحت ان جلسات HBOT المنتظمة

تحسن القوة القصوى والتحمل العضلي عبر تعزيز كفاءة العضلة في استخدام الاوكسجين كما اشار كيم ولي (٦:٧١) الى ان HBOTيقلل من تراكم اللاكتات ويزيد من انتاج الاديتوسين ثلاثي الفوسفات ATP مما يرفع من قدرة الاداء العضلي ويقلل من الشعور بالتعب واكدت دراسة (٩:٣٣) ان زيادة الاوكسجين المذاب في البلازما اثناء العلاج تسهم في تحسين سرعة الاستشفاء بعد الجهد البدني المكثف وبناء على ما تقدم يمكن الاستنتاج ان العلاج بالاوكسجين عالي الضغط يمثل وسيلة فعالة لتحسين القوة العضلية والتحمل وتقليص زمن الاستشفاء مما يعزز من قدرة الرياضيين على التكيف مع متطلبات التدريب المكثف ويؤدي الى رفع مستوى الاداء الوظيفي والبدني بشكل عام

٥- الاستنتاجات

1 -اظهر العلاج بالاوكسجين عالي الضغط HBOT فعالية واضحة في تسريع الاستشفاء العضلي وتقليل مؤشرات الالتهاب مثل البروتين المتفاعل C والانترلوكين ٦ لدى الرياضيين بعد الجهد البدني المكثف مقارنة باساليب الاستشفاء التقليدية.

٢- ساهم HBOT في تحسين التوازن التاكسدي من خلال خفض مستويات MDA وزيادة نشاطSOD ، مما يعزز قدرة العضلات على مقاومة الاجهاد التاكسدي وتسريع عمليات الاصلاح الخلوي.

٣- ارتفعت مؤشرات الاداء العضلي والوظيفي بشكل معنوي لدى المجموعة التجريبية، حيث تحسنت القوة العضلية القصوى والتحمل العضلي وانخفض زمن الاستشفاء، مما يعكس تاثير HBOT الايجابي على تعزيز الاداء الرياضي.

٤- مقارنة بالممارسات التقليدية، يوفر HBOT حلا علاجيا متقدما يدعم التعافي السريع، حماية الانسجة العضلية، وتحسين القدرة الوظيفية للرياضيين، مما يعزز استمرارية التدريب والمنافسة على مستويات اداء مرتفعة.

٥- تشير النتائج الى امكانية دمج HBOT ضمن برامج التأهيل الرياضي الحديثة كوسيلة علاجية امنة وفعالة، مع ضرورة مراعاة جرعة الاكسجين وعدد الجلسات وفق نوع الرياضة وطبيعة الاصابات.

المصادر

1. Chen-Yu Chen, Wen-Yi Chou, Jih-Yang Ko, Mel S. Lee, Re-Wen Wu. “Early Recovery of Exercise-Related Muscular Injury by HBOT.” *Biomed Research International*. 2019;2019:6289380.
2. “Effects of Hyperbaric Oxygen Therapy on Exercise-Induced Muscle Injury and Soreness: A Systematic Review and Meta-analysis.” *American Congress of Rehabilitation Medicine*. 2025.
3. Takuya Oyaizu, Mitsuhiro Enomoto, Naoki Yamamoto et al. “Hyperbaric oxygen reduces inflammation, oxygenates injured muscle, and regenerates skeletal muscle via macrophage and satellite cell activation.” *Scientific Reports*. 2018;8:1288.
4. “Effects of Hyperbaric Oxygen Therapy on Mitochondrial Respiration and Physical Performance in Middle-Aged Athletes: A Blinded, Randomized Controlled Trial.” *PubMed*. 2022.
5. “Effects of Hyperbaric Oxygen Therapy on Inflammation, Oxidative/Antioxidant Balance, and Muscle Damage after Acute Exercise in Normobaric, Normoxic and Hypobaric, Hypoxic Environments: A Pilot Study.” *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020.
6. “Effects of Pre-, Post- and Intra-Exercise Hyperbaric Oxygen Therapy on Performance and Recovery: A Systematic Review and Meta-Analysis.” *PubMed*. 2023.
7. Horie M., Enomoto M., Shimoda M., Okawa A., Miyakawa S., Yagishita K. “Enhancement of satellite cell differentiation and functional recovery in injured skeletal muscle by hyperbaric oxygen treatment.” *Journal of Applied Physiology*. 2014;116:149-155.
8. “Early Recovery of Exercise-Related Muscular Injury by HBOT: randomized study of 41 athletes.” *PMC open access*.

9. “Effects of Exercise Training under Hyperbaric Oxygen on Oxidative Stress Markers and Endurance Performance in Young Soccer Players: A Pilot Study.” *PubMed*. 2017.
10. “Effects of Hyperbaric Oxygen Therapy on Recovery after a Football Match in Young Players: A Double-Blind Randomized Controlled Trial.” *Frontiers in Physiology*. 2024.
11. “Effect of Hyperbaric Oxygen Treatment on Myoblasts and Muscles After Contusion Injury.” *PubMed*. 2019.
12. “Hyperbaric Oxygen Therapy for the Treatment of Bone-Related Diseases.” *International Journal of Molecular Sciences*. 2025;26(3):1067.

٧-التوصيات

١. اعتماد العلاج بالأوكسجين عالي الضغط HBOT كجزء من برامج الاستشفاء والتأهيل الرياضي في المراكز المتخصصة، مع مراقبة دقيقة لمؤشرات الاداء والوظائف الفسيولوجية.
٢. اجراء دراسات مستقبلية طويلة المدى لتحديد الجرعات المثلى وعدد الجلسات المناسبة لكل نوع رياضة ولنوع الاصابة، لضمان أفضل النتائج العلاجية.
٣. دراسة امكانية دمج HBOT مع وسائل استشفاء اخرى مثل التدليك، العلاج بالتبريد، وحمامات التباين لتحقيق تأثيرات تازرية أكبر على التعافي العضلي والاداء الرياضي.
٤. توجيه الابحاث المستقبلية نحو تقييم تاثير HBOT على الرياضيين الهواة والمحترفين على حد سواء، مع مراعاة اختلاف مستويات التحمل البدني وشدة الاحمال التدريبية.
٥. تعزيز التوعية بين المدربين والاخصائيين الرياضيين حول فوائد HBOT واليات عمله، لتشجيع استخدامه بشكل علمي ومدروس في تحسين الاداء الرياضي وجودة الحياة للرياضيين.