MESR
منار الشرق للدراسات والأبحاث
Manar Elsharq for Studies & Research

Journal of Physical Education and Public Health

Website: https://meijournals.com/ara/index.php/jpeph/index

مؤشّرات التعافي بعد المباراة في كرة قدم الصالات: دور تباين النبض (HRV) وحمل التدريب الداخلي في التنبؤ بالتعب المتراكم

م. م صالح عبد الواحد كاظم[1]، م. م علي محمد نعمة الحصيني[2]

جامعة القاسم الخضراء – كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة[1]

وزارة التربية– المديرية العامة لتربية بابل[2]

ARTICLE INFO

Received: 12 Apr
Accepted: 16 May
Volume: 3
Issue: 3

الملخص

يتناول هذا البحث إشكالية التعافي بعد المباراة في كرة قدم الصالات بوصفها أحد أكثر التحديات تعقيدًا في الرياضات الجماعية عالية الكثافة، في ظل ازدحام الجداول التنافسية وتسارع الإيقاع الحركي وما يرافقه من تراكم للتعب. تنبع مشكلة الدراسة من غياب بروتوكولات علمية دقيقة وقابلة للتطبيق تُمكّن من رصد التعافي والتنبؤ بالإجهاد المتراكم اعتمادًا على مؤشرات موضوعية. ويهدف البحث إلى تحليل دور تباين معدل النبض (HRV) وحمل التدريب الداخلي في فهم ديناميكيات التعافي، وتقديم إطار تكاملي يربط المؤشرات الفسيولوجية بالأداء الفعلي. اعتمدت الدراسة منهجًا كميًا ذا تصميم طولي تحليلي يستند إلى مراجعة نقدية للأدبيات وبناء نموذج نظري تفسيري. وأظهرت النتائج أن HRV مؤشر حساس للتوازن العصبي، وأن حمل التدريب الداخلي يفسر الفروق الفردية في الاستجابة، وأن قراءة HRV بمعزل عن السياق التدريبي تؤدي إلى استنتاجات ناقصة، وأن التعافي ظاهرة متعددة الأبعاد، وأن نموذج التكامل الديناميكي المقترح يوفر فهمًا أعمق وأكثر واقعية للتعافي والأداء

الكلمات المفتاحية: كرة قدم الصالات، تباين معدل النبض، التعافي الرياضي، حمل التدريب الداخلي، التعب المتراكم.

Abstract

This study addresses the issue of post-match recovery in futsal as one of the most complex challenges in high-intensity team sports, given congested competitive schedules, accelerated movement tempo, and the resulting accumulation of fatigue. The research problem arises from the lack of precise and practically applicable scientific protocols capable of monitoring recovery and predicting accumulated fatigue using objective indicators. The study aims to examine the role of heart rate variability (HRV) and internal training load in understanding recovery dynamics, and to propose an integrative framework linking physiological markers with actual performance. A quantitative approach with a longitudinal analytical design was adopted, grounded in a critical review of the literature and the development of an explanatory theoretical model. The findings indicate that HRV is a highly sensitive indicator of autonomic balance, that internal training load accounts for individual differences in physiological responses, that interpreting HRV in isolation from the training context leads to incomplete conclusions, that recovery is a multidimensional phenomenon, and that the proposed Dynamic Multidimensional Recovery Integration Model provides a deeper and more realistic understanding of recovery and performance.

Keywords: Futsal, heart rate variability, sport recovery, internal training load, accumulated fatigue

المقدمة:

تُعتبر كرة قدم الصالات (Futsal) من الرياضات الجماعية التي تتطلب جهداً بدنياً عالياً، حيث تتميز بالتناوب السريع بين الأنشطة ذات الشدة العالية والمنخفضة، مع فترات راحة قصيرة نسبياً، وهو ما يجعل الأداء الحركي محكوماً بقدرة اللاعب على الاستجابة الفورية والمتكيفة مع المثيرات المتغيرة داخل فضاء اللعب. وقد أشارت الدراسات إلى أن اللاعبين في كرة قدم الصالات يقومون بأكثر من 1,200 حركة متنوعة خلال المباراة الواحدة، تشمل السباقات السريعة، القفزات، التغييرات

المفاجئة في الاتجاه، والاحتكاك البدني، الأمر الذي يجعل الاستجابة الحركية، على اختلاف مستوياتها، الأساس البنيوي لأي أداء مهاري داخل هذه اللعبة، إذ «إن الاستجابة الحركية على اختلاف مستوياتها في الألعاب الرياضية تعد الأساس في أداء أي حركة ضمن أي فعالية ويكاد لا يخلو منها أي رياضي، وتختلف الأنشطة فيما بعد احتياجها لها حسب المتطلبات المهارية لكل نشاط خاص الألعاب الفردية كما في طالبات كرة قدم الخماسي، وإن يحتاج لاعب الكرة اليد إلى استجابة حركية سريعة لكي يستطيع التعامل من أجل تحقيق نتائج جيدة» (سعد الله، 2015). وفي هذا السياق، تُعد الاستجابة الحركية من القدرات الحركية الجوهرية التي تتجاوز بعدها المهاري إلى بعدها الوظيفي العصبي، حيث «تُعتبر الاستجابة الحركية من العناصر المهمة للفرد بشكل عام والرياضي بشكل خاص، وتُعد من القدرات الحركية الضرورية لدى الفرد، وتبرز أهميتها في الفعاليات والنشاطات التي تتصف بالسرعة وتغير المكان» (سعد الله، 2015، 148)، كما عُرِّفت بأنها «الفعل المؤثر في الرياضي من دخول المثير إلى الدماغ حتى أداء الفعل الحركي» (الحياري، 1987، 60)، وهو تعريف ينسجم مع الطبيعة المتغيرة والسريعة لبيئة اللعب في كرة قدم الصالات، حيث تتشكل سرعة الاستجابة الحركية عبر عمليات عصبية تمثل حالة الإعداد الوظيفي للاستجابة المطلوبة، كما ورد في الدراسات المتخصصة في هذا المجال (عباس، 1445هـ، ص 12). هذه المتطلبات الفسيولوجية العالية تضع ضغطاً كبيراً على الجهاز العصبي المستقل (ANS) والجهاز القلبي الوعائي، مما يستدعي فهماً عميقاً لآليات التعافي وإدارة حمل التدريب، ولا يمكن مقاربة هذا الضغط بمعزل عن إدراك خصوصية المتطلبات البدنية لكل لعبة رياضية، إذ «لكل لعبة أو فعالية رياضية متطلبات وقدرات بدنية خاصة بها ومنها لعبة كرة القدم، لذا بات من المهم معرفة القدرات البدنية التي يحتاج إليها لاعب كرة القدم وتحديدها، وذلك لبناء وتطوير القدرات المطلوبة إلى أبعد مدى ممكن لما لذلك...» (جواد، 2018، ص 26)، وهو ما يتجلى عملياً في طبيعة الأحمال المتكررة والانتقالات السريعة بين الجهدين الهوائي واللاهوائي داخل مباريات كرة قدم الصالات، حيث يتقاطع الضغط العصبي مع الإجهاد القلبي الوعائي في كل لحظة لعب.

في السنوات الأخيرة، برز تباين معدل النبض (Heart Rate Variability – HRV) كأداة موضوعية وغير جراحية لتقييم حالة التعافي والتوازن اللاإرادي للرياضيين، بوصفه مؤشراً دقيقاً على ديناميات التحكم العصبي القلبي، إذ «تظهر هذه التغيرات في معدل وانتظام ضربات القلب في رسم القلب الكهربائي، وتُعرف بتغيرات معدل ضربات القلب (Heart Rate Variability – HRV)، ويمكن تسجيل النشاط الكهربائي لعضلة القلب من أي مكان من جلد الإنسان باستخدام رسام القلب» (شريف، 2018، ص 211)، وهو ما يمنح هذا المؤشر قيمة تطبيقية عالية في متابعة الاستجابات الفسيولوجية الدقيقة الناتجة عن الأحمال التدريبية المتراكمة.

يعكس HRV التذبذب في الفترات الزمنية بين نبضات القلب المتتالية، بوصفه مؤشراً حساساً للتفاعل الديناميكي بين نشاطي الجهاز العصبي الباراسمبثاوي والسمبثاوي، إذ يرتبط انتظام هذا التذبذب بقدرة القلب على التكيّف الوظيفي مع متطلبات الجهد والتعافي، حيث «يعمل القلب (ينبض) بمعدل أبطأ ويأخذ فترة زمنية لمزيد من الراحة بين الضربات، ففي جري المسافات تؤدي التمرينات والتدريب إلى تناقص العمل الكلي الحادث بواسطة القلب» (كماش، 2014، ص 36). وفي هذا الإطار، يشير انخفاض قيم HRV عادةً إلى حالة من التعب أو الإجهاد المتراكم نتيجة الضغط العصبي والفسيولوجي، في حين يُعد ارتفاع هذه القيم دلالة على تعافٍ فعّال واستعداد بدني متقدم يسمح باستيعاب الأحمال التدريبية اللاحقة بكفاءة أعلى.

من جهة أخرى، يُعد حمل التدريب الداخلي (Internal Training Load) مفهوماً محورياً في علم التدريب الرياضي، إذ يعبّر عن طبيعة الاستجابة الفسيولوجية الفردية للرياضي إزاء المثيرات التدريبية المفروضة عليه، في تمايز واضح عن الحمل الخارجي بوصفه تمثيلاً كمّياً لشدة الجهد وحجمه وكثافته، حيث «يميز البعض بين نوعين من حمل التدريب هما: (أ) الحمل

الخارجي، ويشتمل على المكونات السابق ذكرها: الشدة، الحجم، الكثافة، و(ب) الحمل الداخلي، وهو درجة الاستجابات والتغيرات الوظيفية...» (الروابدة، د.ت. ص 20)، وهو ما يكرّس فهم الحمل الداخلي بوصفه انعكاساً دقيقاً للتفاعل الذاتي بين الخصائص البيولوجية للرياضي ومتطلبات الحمل التدريبي المطبق.

بيان المسألة وبيان المشكلة

بيان المسألة

تواجه كرة قدم الصالات تحديات فريدة نابعة من كثافة الجداول التنافسية وتسارع إيقاع المباريات، إذ قد يخوض اللاعبون عدة مواجهات خلال الأسبوع الواحد مع فواصل زمنية محدودة للتعافي، وهو ما يهيّئ بيئة مثالية لتراكم التعب وانعكاساته السلبية على الكفاءة البدنية والدقة المهارية وارتفاع احتمالات الإصابة. وتتضاعف حساسية هذه الإشكالية إذا ما استُحضر البعد الحاسم للأداء الهجومي في هذه اللعبة، حيث إن «أهمية التهديف في خماسي كرة القدم تمثل الجزء المهم والأكثر إثارة في اللعبة، والهدف النهائي لكل فريق يكون في خلق فرصة أو فرص لتسجيل الأهداف، وتكون فرص التهديف كثيرة لكون مساحة الملعب صغيرة، ولعب الكرة ضمن إطار اللعبة يكون بالسرعة والحركة، وإن وقت الوصول إلى مرمى المنافس يتم بسرعة خاطفة»، الأمر الذي يفرض على اللاعب المحافظة على جاهزية بدنية وعصبية عالية رغم محدودية الاستشفاء. كما أن «على التهديف تتوقف نتيجة المباراة، والتهديف هو الخطوة الأخيرة في سلسلة فعاليات تنتهي بضربة التهديف» (الصفار، 1984، ص 126)، وهو ما يجعل أي تراجع في القدرة على التعافي عاملاً مباشراً في اختلال هذه السلسلة المهارية، لاسيما وأن «عملية التهديف ليست مهارة قائمة بحد ذاتها، وإنما هي مجموعة من المهارات المتداخلة، إذ إن أداء المهارات الحركية الأساسية كالاستلام والتمرير والمراوغة ما هو إلا لخدمة ونجاح التهديف» (عباس، 1445، ص 16). وفي هذا السياق، وعلى الرغم من التقدم الملحوظ في فهم فسيولوجيا التعافي في بعض الرياضات الجماعية الأخرى، فإن المؤشرات الدقيقة المرتبطة بتعافي لاعبي كرة قدم الصالات، وتأثيرها المباشر في استدامة الفاعلية التهديفية، لا تزال تعاني من محدودية البحث والتناول العلمي المتخصص.

بيان المشكلة

تتمثل الإشكالية الجوهرية التي تواجه المدربين والباحثين في كرة قدم الصالات في غياب بروتوكولات علمية واضحة ومعتمدة لرصد التعافي والتنبؤ بالتعب المتراكم، إذ لا تزال معظم الفرق تعتمد على مؤشرات ذاتية أو ملاحظات خبراتية آنية، مع ضعف توظيف التقنيات الحديثة مثل قياسات تباين معدل النبض (HRV) أو التحليل المنهجي لحمل التدريب الداخلي. ويتعمق هذا الإشكال بوجود فجوة بحثية في فهم العلاقة الديناميكية بين التغيرات في HRV عقب المباريات وخلال فترات التدريب، وتراكم الحمل الداخلي، ومؤشرات التعب الموضوعية والذاتية، وانعكاس ذلك كله على الأداء الفعلي في المباريات اللاحقة، الأمر الذي يقيّد قدرة الأجهزة الفنية على اتخاذ قرارات دقيقة بشأن تخطيط الأحمال، وتوقيت الاستشفاء، والتفريد التدريبي، ويزيد في الوقت نفسه من احتمالات الوقوع في فخ التدريب المفرط أو التدريب الناقص، بما يحمله كلاهما من آثار سلبية مباشرة على الأداء والاستقرار التنافسي.

أسئلة الدراسة

استناداً إلى ما سبق، تسعى هذه الدراسة للإجابة عن الأسئلة التالية:

1. ما مدى فعالية مؤشر تباين معدل النبض (HRV) في التنبؤ بحالة التعافي والتعب المتراكم لدى لاعبي كرة قدم الصالات على مدى موسم تنافسي كامل، وما هي المعايير الزمنية المثلى لقياس HRV (صباحي، ما قبل التدريب، ما بعد المباراة) التي توفر أعلى قيمة تنبؤية؟

2. كيف يؤثر حمل التدريب الداخلي المتراكم) مقاساً بمؤشرات مثل session–RPE وزمن النبض في المناطق المختلفة (على ديناميكيات HRV لدى لاعبي كرة قدم الصالات، وهل توجد عتبات حرجة لحمل التدريب تؤدي إلى تغيرات ملموسة في مؤشرات التعافي؟
3. هل يمكن تطوير نموذج تنبؤي متعدد المتغيرات يجمع بين مؤشراتHRV ، حمل التدريب الداخلي، والمتغيرات الأنثروبومترية والفسيولوجية للتنبؤ الدقيق بالتعب المتراكم والأداء في المباريات اللاحقة لدى لاعبي كرة قدم الصالات؟

فرضيات الدراسة

1. يُتوقع أن تكون قياسات HRV الصباحية (عند الاستيقاظ في وضعية الاستلقاء) أكثر دقة في التنبؤ بحالة التعافي طويلة المدى والتعب المتراكم مقارنة بالقياسات ما قبل أو بعد التدريب مباشرة، مع وجود ارتباط سلبي دال إحصائياً ($r > -0.65$, $p < 0.01$) بين انخفاض مؤشرات HRV خاصة RMSSD و (HF power وزيادة مستويات التعب المتراكم المقاس بمقاييس موضوعية وذاتية.
2. هناك علاقة جرعة–استجابة غير خطية بين حمل التدريب الداخلي المتراكم وتغيراتHRV ، حيث يؤدي تجاوز عتبة حرجة معينة من الحمل التدريبي الأسبوعي) المقدرة بحوالي 3000–3500 وحدة تعسفية من (session–RPE إلى انخفاض حاد في مؤشرات HRV يزيد بنسبة 20–30% عن الانخفاض المتوقع في ظل الأحمال المعتدلة، مما يشير إلى بداية حالة الإجهاد الزائد.
3. يمكن تطوير نموذج تنبؤي متعدد المتغيرات بدقة تصنيفية تتجاوز 80% في التنبؤ بمستويات التعب المتراكم (منخفض، متوسط، عالٍ) من خلال دمج: (أ) التغيرات الأسبوعية فيHRV ، (ب) نسبة الحمل الحاد إلى المزمن(ACWR) ، (ج) جودة النوم المبلغ عنها ذاتياً، و(د) المتغيرات الكيميائية الحيوية المختارة (مثل نسبة الكورتيزول إلى التستوستيرون)، مما يتيح للمدربين اتخاذ قرارات استباقية بشأن تعديل الأحمال التدريبية.

أهداف الدراسة

تسعى هذه الدراسة لتحقيق الأهداف التالية:

1. تحديد البروتوكول الأمثل لقياس HRV لدى لاعبي كرة قدم الصالات من حيث التوقيت، الوضعية، ومدة القياس، بما يضمن أعلى موثوقية وحساسية في الكشف عن التغيرات في حالة التعافي.
2. تحليل العلاقة الديناميكية بين حمل التدريب الداخلي (المقاس بطرق متعددة) ومؤشرات HRV المختلفة عبر مراحل مختلفة من الموسم التنافسي، وتحديد العتبات الحرجة لحمل التدريب التي تؤدي إلى اضطرابات في التوازن اللاإرادي.
3. استكشاف الفروقات الفردية في استجابة HRV لحمل التدريب بين اللاعبين، وتحديد المتغيرات المعدّلة (مثل العمر التدريبي، التكوين الجسمي، الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين) التي تؤثر على هذه الاستجابة.
4. تطوير نموذج تنبؤي تطبيقي متعدد المتغيرات يمكن استخدامه في البيئة التدريبية الحقيقية للتنبؤ بمستويات التعب المتراكم والأداء المتوقع في المباريات.
5. تقديم توصيات عملية قائمة على الأدلة للمدربين والطواقم الطبية حول كيفية دمج قياسات HRV وحمل التدريب الداخلي في عملية صنع القرار المتعلقة بتخطيط التدريب، التعافي، والوقاية من الإصابات في كرة قدم الصالات.

منهج البحث

التصميم البحثي

ستعتمد هذه الدراسة منهجاً كمياً بتصميم طولي (Longitudinal Design) يمتد على مدار موسم تنافسي كامل يتراوح بين تسعة وعشرة أشهر، بما يتيح رصد التحولات التدريجية التي تطرأ على المتغيرات الفسيولوجية والأدائية لدى لاعبي كرة قدم

الصالات عبر الزمن، انسجاماً مع التصور المنهجي الذي يرى أن «التصميم الطولي يُعنى بدراسة التغير الذي يطرأ على الظاهرة المستهدفة والمتغيرات المتعلقة بها خلال ملاحظة المبحوث فترة من الزمن أو على عدة فترات زمنية» (الشويرخ، 2023، ص 213). وفي هذا الإطار، سيتم جمع البيانات بصورة منتظمة من لاعبين محترفين أو شبه محترفين، مع تنفيذ قياسات متكررة لتباين معدل النبض (HRV)، وحمل التدريب الداخلي، ومؤشرات الأداء والتعب، بما يسمح بتتبع ديناميات الاستجابة والتعافي ضمن السياق التنافسي الفعلي، على غرار الملاحظة المتتابعة التي تكشف الفروق الدقيقة بين لحظات الذروة وحالات الإجهاد المتراكم خلال الموسم.

العينة البحثية

حجم العينة 50–40 :لاعب كرة قدم صالات من فريقين أو ثلاثة فرق تنافسية (لضمان التنوع في مستويات الأداء وأساليب التدريب).

معايير الاشتمال:

- لاعبون ذكور تتراوح أعمارهم بين 18–32 سنة
- خبرة تنافسية لا تقل عن 3 سنوات في كرة قدم الصالات
- عدم وجود إصابات كبيرة أو أمراض قلبية في الستة أشهر السابقة
- موافقة طوعية على المشاركة في الدراسة

أدوات جمع البيانات

أولاً: قياساتHRV

- استخدام أجهزة قياس معتمدة) مثل Polar H10 أو(Garmin HRM–Dual
- قياسات صباحية يومية (5 دقائق في وضعية الاستلقاء بعد الاستيقاظ(
- قياسات ما قبل وبعد الجلسات التدريبية والمباريات
- تحليل مؤشرات HRV في المجال الزمني (RMSSD, SDNN, pNN50) والترددي(LF, HF, LF/HF ratio)

ثانياً: حمل التدريب الداخلي

- :(Session–RPE (CR–10 Scaleتسجيل يومي بعد 30 دقيقة من انتهاء كل جلسة تدريبية أو مباراة
- مراقبة معدل النبض خلال التدريب والمباريات باستخدام أجهزة القياس المستمر
- حساب مؤشرات(Training Impulse) TRIMP :، زمن النبض في مناطق الشدة المختلفة
- حساب نسبة الحمل الحاد إلى المزمن(ACWR)

ثالثاً: مؤشرات التعب والاستعداد

- استبيان يومي للحالة الصحية :(Wellness Questionnaire) جودة النوم، آلام العضلات، مستوى الطاقة، الحالة المزاجية، مستوى الإجهاد (مقياس ليكرت 1–5)
- اختبارات بدنية أسبوعية: قفزة عمودية مضادة(CMJ) ، سرعة 10 و 20 متر
- قياسات كيميائية حيوية شهرية (لعينة فرعية): الكورتيزول اللعابي، التستوستيرون، الكرياتين كيناز (CK)

رابعاً: مؤشرات الأداء

- إحصائيات المباريات: المسافة المقطوعة، السباقات عالية الشدة، الأهداف، التمريرات الناجحة
- تقييم المدرب لأداء اللاعب (مقياس 1–10)
- نتائج الفريق (فوز، تعادل، خسارة)

الإجراءات

1. **فترة الخط القاعدي (أسبوعان)** :جمع بيانات أولية لتحديد قيم HRV القاعدية الفردية
2. **المراقبة المستمرة** :جمع يومي للبيانات طوال الموسم
3. **تقييمات دورية** :اختبارات بدنية أسبوعية، قياسات كيميائية حيوية شهرية
4. **تحليل البيانات** :استخدام أساليب إحصائية متقدمة (تحليل الارتباط، الانحدار المتعدد، نماذج المعادلات البنائية، التعلم الآلي)

الاعتبارات الأخلاقية

- الحصول على موافقة الجهات الأخلاقية المختصة
- موافقة مستنيرة من جميع المشاركين
- حماية سرية البيانات وعدم الكشف عن الهوية
- حق المشاركين في الانسحاب في أي وقت

الإطار النظري

الخصائص الفسيولوجية لكرة قدم الصالات

تتميز كرة قدم الصالات بمتطلبات فسيولوجية فريدة تميزها عن كرة القدم التقليدية. إن معدل النبض أثناء المباريات يتراوح بين 85–95% من الحد الأقصى لمعدل النبض، مع تركيزات لاكتات تتجاوز 6–8mmol/L ، مما يشير إلى مساهمة كبيرة من النظام اللاهوائي.

الأبعاد الصغيرة للملعب (40×20 متر) والعدد المحدود للاعبين (5 لكل فريق) تؤدي إلى كثافة أعلى في الأنشطة عالية الشدة مقارنة بكرة القدم. إن اللاعبين يقومون بسباق عالي الشدة كل 30–40 ثانية تقريباً، مع فترات تعافٍ قصيرة جداً. هذا النمط من الجهد المتقطع عالي الشدة يضع ضغطاً كبيراً على أنظمة إنتاج الطاقة والتعافي العصبي العضلي.

علاوة على ذلك، تتميز كرة قدم الصالات بعدد كبير من التغييرات في الاتجاه، القفزات، والتسارعات والتباطؤات المفاجئة، مما يزيد من الحمل الميكانيكي على العضلات والمفاصل. هذا الحمل الميكانيكي العالي، إلى جانب المتطلبات الأيضية، يجعل التعافي بعد المباراة أمراً بالغ الأهمية للحفاظ على الأداء في المباريات المتتالية.

تباين معدل النبض (HRV) كمؤشر للتعافي

يعكس تباين معدل النبض (HRV) التذبذبات الدقيقة في الفترات الزمنية الفاصلة بين ضربات القلب المتتالية، بوصفه مؤشراً بالغ الحساسية لنشاط الجهاز العصبي المستقل وتوازنه الوظيفي، إذ يرتبط ازدياده بفاعلية الجهاز العصبي الباراسمبثاوي عبر العصب الحائر، في حين يؤدي تصاعد النشاط السمبثاوي إلى انخفاضه، وهو ما يتقاطع مع التصور الذي يؤكد أن «نحن في حاجة إلى أرض أشد صلابة إن كنا نريد إيجاد شفاء يفيد النظام بأكمله، لنبدأ بمقياس يُعرف بتغير معدل ضربات القلب، إن الصوت النمطي لضربات القلب هو قرع ثابت على إيقاع ضربة خفيفة تتبعها ضربة قوية» (شوبرا، 2018، ص 103)، بما يجعل HRV مرآة فسيولوجية حساسة تعكس قدرة الجسم على التنظيم الذاتي والتعافي ضمن السياق الرياضي عالي الشدة.

في السياق الرياضي، يُعتبر HRV مؤشراً قيماً لحالة التعافي والتكيف مع التدريب. اللاعبون المتعافون جيداً يظهرون عادة قيماً أعلى من) HRV خاصة في المؤشرات المرتبطة بالنشاط الباراسمبثاوي مثل RMSSD و(HF power ، بينما انخفاض HRVقد يشير إلى تعب متراكم أو حالة من الإجهاد الزائد.

من المؤشرات الشائعة المستخدمة في تقييم:HRV

مؤشرات المجال الزمني:

- **RMSSD** (Root Mean Square of Successive Differences): يعكس النشاط الباراسمبثاوي قصير المدى
- **SDNN** (Standard Deviation of NN intervals): يعكس التباين الكلي
- **pNN50**: نسبة الفترات المتتالية التي تختلف بأكثر من 50 مللي ثانية

مؤشرات المجال الترددي:

- **HF** (High Frequency): يعكس النشاط الباراسمبثاوي (0.15–0.4 Hz)
- **LF** (Low Frequency): يعكس النشاط السمبثاوي والباراسمبثاوي (0.04–0.15 Hz)
- **LF/HF Ratio**: يُستخدم كمؤشر للتوازن اللاإرادي

وقد أشير في الأدبيات المتخصصة إلى أن مؤشر RMSSD يُعد من أكثر مؤشرات تباين معدل النبض موثوقية في القياسات قصيرة المدى التي تتراوح بين دقيقة وخمس دقائق، لكونه يعكس بصورة مباشرة نشاط الجهاز العصبي الباراسمبثاوي، فضلاً عن تمتعه بقدرة منهجية على الدمج بين التسجيلات الزمنية القصيرة، حيث إن «ميزة مقياس RMSSD تكمن في قدرته على التحسن من خلال دمج تسجيلات منفصلة، أي دمج عدد من قيم RMSSD القصيرة، مثل ست قياسات RMSSD (10)، للحصول على ما يعادل) 60RMSSD)» (IEEE Engineering in Medicine and Biology Society، 2003، ص 2427)، الأمر الذي يقلل من حساسيته لتغيرات التنفس والوضعية مقارنة بمؤشرات المجال الترددي، ويمنحه أفضلية تطبيقية واضحة في البيئات الرياضية التي تتطلب قياسات سريعة ودقيقة قبل أو بعد الجهد التنافسي.

حمل التدريب الداخلي ومؤشرات التعب

حمل التدريب الداخلي يمثل الاستجابة الفسيولوجية الفردية للمحفزات التدريبية الخارجية. على عكس حمل التدريب الخارجي (مثل المسافة المقطوعة أو عدد السباقات)، فإن الحمل الداخلي يأخذ في الاعتبار الحالة الفسيولوجية الفردية للرياضي.

من أبرز طرق قياس حمل التدريب الداخلي:

Session-RPE: طريقة بسيطة وفعالة تعتمد على مقياس Borg المعدل (CR-10) حيث يقيم اللاعب شدة الجلسة التدريبية ككل بعد 30 دقيقة من انتهائها. يتم ضرب التقييم في مدة الجلسة بالدقائق للحصول على حمل التدريب بالوحدات التعسفية .

ويُعد مؤشر TRIMP (Training Impulse) من أكثر الطرائق شيوعاً في تقدير حمل التدريب اعتماداً على معدل النبض، إذ يقوم على احتساب الحمل بوصفه دالة لزمن التمرين ومتوسط معدل القلب مع معامل تصحيحي يعكس شدة الجهد، وهو ما ينسجم مع الطرح الذي يرى أن «معدل النبض هو الطريقة الأسهل لملاحظة الشدة، لأنها تؤدي جميع العمل عنك، وكل ما عليك هو النظر في الساعة لمشاهدة معدل النبض الآني بالدقيقة والنسبة المئوية، كما يُقيَّم معدل القلب المستهدف (THR) بوصفه أداة لتقدير الشدة» (فرج، 2017، ص 125)، الأمر الذي أسهم في تطوير نماذج متعددة لـ TRIMP، من أبرزها نموذجا Banister وEdwards، بوصفهما إطارين كميين لربط الاستجابة القلبية بالحمل التدريبي المتراكم.

وتُعد نسبة الحمل الحاد إلى المزمن (Acute:Chronic Workload Ratio – ACWR) نموذجاً تحليلياً شائع الاستخدام في متابعة مخاطر الإصابة، إذ تقوم على مقارنة حمل التدريب في الأسبوع الحالي بالحمل المتوسط للأسابيع الأربعة السابقة، بما يسمح برصد الاختلالات المفاجئة في شدة التعرض البدني، حيث «تُعد ACWR المؤشر الأكثر استخداماً لتقييم خطر الإصابة في تطبيقات الجهد المُدرَك ذاتياً (sRPE)، فعندما تتراوح قيم ACWR بين 0.8 و1.3 يكون الرياضيون في نطاق منخفض الخطورة، بينما ترتفع مخاطر الإصابة بشكل ملحوظ عندما تتجاوز القيم 1.5» (Forte et al., 2025، ص

74)، وهو ما يمنح هذا المؤشر بعداً وقائياً مهماً في ضبط توازن الحمل التدريبي واستدامة الجاهزية البدنية ضمن السياقات التنافسية المكثفة.

ينشأ التعب المتراكم نتيجة اختلال التوازن الدقيق بين حمل التدريب وآليات التعافي، إذ يؤدي تجاوز الحمل للقدرة التكيفية للجسم إلى ظهور حالة من الإجهاد الزائد الوظيفي (Functional Overreaching) بوصفها استجابة مؤقتة قد تفضي إلى تحسين الأداء إذا ما أُديرت بشكل ملائم، غير أنها قد تنقلب إلى إجهاد زائد غير وظيفي (Non-functional Overreaching) أو تتطور إلى متلازمة الإفراط في التدريب (Overtraining Syndrome) عند استمرار الضغط دون تدخل تصحيحي، وهي مفاهيم تُستعمل لوصف التحولات في مستويات التعب والتكيفات التدريبية اللاحقة، رغم أن الأدبيات تشير إلى أن «مصطلحات الإجهاد الزائد الوظيفي، والإجهاد الزائد غير الوظيفي، والإفراط في التدريب تُستخدم كثيراً لوصف التغيرات في التعب والتكيفات التدريبية اللاحقة، إلا أنها كثيراً ما يُساء استخدامها» (Apostolopoulos et al., 2025، ص 290)، وهو ما يبرز الحاجة إلى مؤشرات كمية دقيقة تميز بين هذه الحالات ضمن البيئات التدريبية عالية الكثافة.

العلاقة بين HRV والتعب المتراكم

العلاقة بين HRV وحمل التدريب معقدة وغير خطية. في المراحل الأولى من زيادة حمل التدريب، قد يحدث انخفاض طفيف في HRV كاستجابة طبيعية للإجهاد. ومع ذلك، عندما يكون التعافي كافياً، يعود HRV إلى مستوياته القاعدية أو حتى يرتفع كعلامة على التكيف الفائق.

الفجوة البحثية:

على الرغم من هذه الدراسات القيمة، لا توجد دراسات شاملة تجمع بين:

1. مراقبة طولية لـ HRV على مدى موسم كامل في كرة قدم الصالات
2. تحليل متعدد المستويات للعلاقة بين HRV وحمل التدريب الداخلي بطرق قياس مختلفة
3. تطوير نموذج تنبؤي متكامل يمكن استخدامه عملياً في البيئة التدريبية

هذه الدراسة تسعى لسد هذه الفجوة من خلال نهج منهجي شامل.

رأي الباحث: نموذج التكامل الديناميكي للتعافي متعدد الأبعاد

المقدمة النظرية للنموذج

بعد استعراض الأدبيات العلمية والممارسات الميدانية الحالية، يقترح الباحث نموذجاً جديداً ومبتكراً لفهم وإدارة التعافي في كرة قدم الصالات، يُطلق عليه "نموذج التكامل الديناميكي للتعافي متعدد الأبعاد (Dynamic Multidimensional Recovery Integration Model – DMRIM). "هذا النموذج يتجاوز النهج الخطي التقليدي في تقييم التعافي، ويقدم إطاراً تكاملياً يعكس الطبيعة المعقدة والتفاعلية لعمليات التعافي الفسيولوجية والنفسية.

الأساس الفلسفي للنموذج

يستند هذا النموذج إلى مبدأ أساسي مفاده أن التعافي ليس عملية خطية أحادية البعد، بل هو نظام ديناميكي معقد يتضمن تفاعلات متعددة المستويات بين الأنظمة الفسيولوجية، العصبية، الأيضية، والنفسية. التفكير التقليدي يعامل مؤشرات التعافي (مثلHRV ، الكرياتين كيناز، آلام العضلات (كمتغيرات مستقلة، بينما يقترح هذا النموذج أنها في الواقع متشابكة ومترابطة في شبكة معقدة من العلاقات السببية المتبادلة.

استلهاماً من نظرية الأنظمة المعقدة (Complex Systems Theory) ونظرية الشبكات(Network Theory) ، يفترض النموذج أن:

1. **عدم الخطية** :العلاقة بين حمل التدريب والتعافي غير خطية، حيث توجد نقاط حرجة (Tipping Points)يمكن أن تؤدي عندها تغيرات صغيرة في الحمل إلى تحولات كبيرة في حالة التعافي.
2. **التفاعلية** :المؤشرات المختلفة للتعافي لا تعمل بشكل مستقل، بل تتفاعل وتؤثر على بعضها البعض. على سبيل المثال، سوء جودة النوم لا يؤثر فقط على الشعور بالإرهاق، بل يؤثر أيضاً علىHRV ، الاستجابة الهرمونية، والأداء البدني.
3. **الفردية** :كل لاعب يمثل نظاماً فريداً بمعاملاته الخاصة، وبالتالي فإن الاستجابة لنفس الحمل التدريبي تختلف بين اللاعبين بناءً على عوامل وراثية، تدريبية، ونمط الحياة.
4. **الديناميكية الزمنية** :حالة التعافي ليست ثابتة، بل تتغير باستمرار عبر الزمن، وتتأثر بالتاريخ التدريبي الحديث والبعيد.

مكونات النموذج الأساسية

يتكون نموذج DMRIM من خمسة أبعاد رئيسية متكاملة:

البعد الأول: البعد اللاإرادي العصبي(Autonomic Dimension)

يتمثل في مؤشرات HRV وتوازن الجهاز العصبي المستقل. بدلاً من الاعتماد على قيمة HRV المطلقة في لحظة معينة، يقترح النموذج استخدام "مسار HRV الديناميكي (HRV Dynamic Trajectory) "الذي يتتبع التغيرات في HRV عبر فترات زمنية متعددة (يومي، أسبوعي، شهري). هذا المسار يوفر معلومات أكثر ثراءً عن كيفية استجابة الجهاز العصبي المستقل للأحمال التدريبية واتجاهات التعافي.

مؤشر مبتكر: معامل مرونةHRV (HRV Resilience Coefficient – HRV–RC)

يقترح الباحث مؤشراً جديداً يُسمى "معامل مرونة "HRV والذي يقيس قدرة HRV على العودة إلى خطه القاعدي بعد اضطراب تدريبي. يتم حسابه من خلال:

HRV–RC = (مساحة تحت منحنى التعافي) / (حجم الاضطراب الأولي × زمن التعافي)

حيث:

- **مساحة تحت منحنى التعافي** :تمثل مجموع قيم الانحراف عن الخط القاعدي خلال فترة التعافي
- **حجم الاضطراب الأولي** :الانخفاض في HRV مباشرة بعد الحمل التدريبي مقارنة بالخط القاعدي
- **زمن التعافي** :الفترة الزمنية اللازمة للعودة إلى 95% من قيمة الخط القاعدي

قيم HRV–RC الأعلى تشير إلى قدرة أفضل على التعافي السريع، بينما القيم المنخفضة تشير إلى ضعف في آليات التعافي اللاإرادية. هذا المؤشر يأخذ في الاعتبار ليس فقط مدى انخفاضHRV ، بل أيضاً سرعة التعافي، مما يوفر صورة أكثر شمولية عن حالة التعافي الفردية.

البعد الثاني: البعد الأيضي والبيوكيميائي(Metabolic–Biochemical Dimension)

يشمل المؤشرات الهرمونية (الكورتيزول، التستوستيرون)، علامات تلف العضلاتCK) ، (LDH، ومؤشرات الالتهاب CRP)، .(IL–6التفكير التقليدي يعامل هذه المؤشرات كقيم مطلقة، لكن النموذج المقترح يركز على "النسب الديناميكية" و"معدلات التغيير" بدلاً من القيم المطلقة.

مؤشر مبتكر: مؤشر التوازن الأيضي الديناميكي(Dynamic Metabolic Balance Index – DMBI)

يقترح الباحث دمج عدة مؤشرات بيوكيميائية في مؤشر مركب واحد:

DMBI = [(T/C نسبة) × (1 / CK معامل] × [((معدل تناقص اللاكتات) / (مستوى الالتهاب القاعدي)[

حيث:

- **T/Cنسبة** :نسبة التستوستيرون إلى الكورتيزول (مؤشر التوازن الأنابولي–الكاتابولي)
- **CKمعامل** :قيمة الكرياتين كيناز منسوبة إلى خط القاعدة الفردي
- **معدل تناقص اللاكتات** :سرعة انخفاض اللاكتات في أول 30 دقيقة بعد الجهد
- **مستوى الالتهاب القاعدي** :مقاس بـ CRP أو6–IL

قيم DMBI الأعلى تعكس حالة أيضية أكثر ملاءمة للتعافي، بينما الانخفاض التدريجي في DMBI عبر الزمن يشير إلى تراكم التعب الأيضي. الميزة الرئيسية لهذا المؤشر هي أنه يجمع بين المؤشرات الأنابولية والكاتابولية والالتهابية في قيمة واحدة سهلة التفسير.

البعد الثالث: البعد العصبي العضلي(Neuromuscular Dimension)

يشمل مؤشرات الأداء البدني مثل القفزة العمودية المضادة(CMJ) ، اختبارات السرعة، وقياسات القوة. التغيرات في هذه المقاييس تعكس حالة التعب العصبي العضلي.

مؤشر مبتكر: مؤشر الكفاءة العصبية العضلية(Neuromuscular Efficiency Index – NEI)

بدلاً من مجرد قياس ارتفاع القفزة، يقترح الباحث تحليل "كفاءة الحركة" من خلال:

NEI = (ارتفاع القفزة) / (زمن الطيران × قوة التفاعل الأرضية القصوى)

هذا المؤشر يقيس قدرة الجهاز العصبي العضلي على توليد قوة بكفاءة. انخفاض NEI مع الحفاظ على ارتفاع قفزة معقول قد يشير إلى تعب عصبي حتى لو لم تظهر القياسات التقليدية انخفاضاً واضحاً. يتطلب هذا القياس استخدام منصات قوة (Force Plates)ولكنه يوفر معلومات أعمق عن حالة التعب.

البعد الرابع: البعد النفسي والإدراكي(Psycho–Cognitive Dimension)

يشمل جودة النوم، الحالة المزاجية، مستوى التحفيز، والإدراك الذاتي للتعب والاستعداد. على الرغم من كونها ذاتية، إلا أن هذه المؤشرات لها قيمة تنبؤية عالية.

مؤشر مبتكر: مؤشر الجاهزية النفسية المتكاملة(Integrated Psychological Readiness Index – IPRI)

يتم حسابه من خلال استبيان يومي يغطي خمسة أبعاد (جودة النوم، آلام العضلات، الحالة المزاجية، مستوى الطاقة، مستوى التوتر)، كل منها مُقيّم على مقياس 1–5. بدلاً من مجرد جمع الدرجات، يقترح النموذج استخدام "خوارزمية الترجيح التكيفية" التي تعطي أوزاناً مختلفة لكل بعد بناءً على ارتباطه التاريخي بالأداء الفعلي للاعب الفردي.

IPRI = Σ (وزن البعد × i_درجة البعد) حيث تُحدد الأوزان من خلال تحليل الانحدار على البيانات التاريخية لكل لاعب.

البعد الخامس: البعد السياقي والتفاعلي(Contextual–Interactional Dimension)

هذا البعد المبتكر يأخذ في الاعتبار السياق التدريبي والتنافسي، بما في ذلك:

- نوع الحمل التدريبي (فني، بدني، تكتيكي(
- كثافة الجدول التنافسي
- العوامل البيئية (السفر، الارتفاع، المناخ)
- ديناميكيات الفريق والعوامل الاجتماعية

مؤشر مبتكر: معامل الإجهاد السياقي المركب(Composite Contextual Stress Coefficient – CCSC)

يقيس التأثير التراكمي للعوامل السياقية على حالة التعافي:

(كثافة الجدول × معامل السفر) + (معامل الضغط التنافسي) + (معامل التغيرات البيئية) = CCSC

حيث يتم تحديد كل معامل بناءً على بيانات تاريخية حول تأثيره على مؤشرات التعافي الأخرى. على سبيل المثال، السفر لمسافات طويلة قد يضيف عبئاً إضافياً يعادل 15–20% من حمل تدريبي عادي.

آلية عمل النموذج: نهج الشبكة الديناميكية

الابتكار الأساسي في نموذج DMRIM هو كيفية دمج هذه الأبعاد الخمسة. بدلاً من معاملتها كمتغيرات مستقلة، يتم تمثيلها كعقد (Nodes) في شبكة ديناميكية، حيث الحواف (Edges) بين العقد تمثل التفاعلات والعلاقات السببية.

مثال توضيحي:

- انخفاض في HRV (البعد اللاإرادي) قد يؤثر على جودة النوم (البعد النفسي)
- سوء جودة النوم يؤثر على الاستجابة الهرمونية (البعد الأيضي)
- الاضطراب الهرموني يؤثر على الأداء العصبي العضلي (البعد العصبي العضلي)
- انخفاض الأداء يؤثر على الحالة المزاجية والتحفيز (البعد النفسي)
- وهكذا في دائرة من التأثيرات المتبادلة

من خلال نمذجة هذه الشبكة باستخدام تقنيات مثل المعادلات البنائية (Structural Equation Modeling) أو الشبكات العصبية الاصطناعية، يمكن:

1. **تحديد المؤشرات الأكثر تأثيراً** في حالة التعافي لكل لاعب فردياً
2. **التنبؤ بتطورات التعافي المستقبلية** بناءً على الحالة الحالية والتفاعلات المتوقعة
3. **تحديد نقاط التدخل المثلى** –أي الأبعاد التي يجب التركيز عليها لتحسين التعافي بشكل أكثر فعالية

التطبيق العملي للنموذج

المرحلة الأولى: التوصيف الفردي

في الأسابيع الأولى من تطبيق النموذج، يتم جمع بيانات مكثفة لكل لاعب لتحديد:

- خطوط القاعدة الفردية لجميع المؤشرات
- الأنماط الفردية للاستجابة) هل اللاعب "مستجيب عالي "HRV أم "مستجيب منخفض"HRV ؟(
- أوزان وعلاقات الشبكة الخاصة باللاعب

المرحلة الثانية: المراقبة الديناميكية

بعد التوصيف، يتم تطبيق "لوحة القيادة متعددة الأبعاد (Multidimensional Dashboard) "التي تعرض:

- حالة كل بعد من الأبعاد الخمسة في الوقت الفعلي
- المؤشر المركب للتعافي (Composite Recovery Index) الذي يدمج جميع الأبعاد
- التنبؤات قصيرة ومتوسطة المدى لتطور حالة التعافي

المرحلة الثالثة: اتخاذ القرار المعلوماتي

بناءً على بيانات لوحة القيادة، يمكن للمدرب:

- **تخصيص الأحمال التدريبية فردياً** :إذا أظهر لاعب انخفاضاً في مؤشر التعافي، يمكن تقليل حمله أو تعديل نوع التدريب
- **تحديد أولويات التدخلات** :إذا أظهرت الشبكة أن البعد النفسي هو الأكثر تأثيراً حالياً، يمكن التركيز على استراتيجيات نفسية مثل تحسين النوم أو تقنيات الاسترخاء

- **التخطيط الاستراتيجي** :استخدام التنبؤات لتخطيط الأحمال بشكل يتجنب تراكم التعب قبل المباريات المهمة

المزايا النظرية والعملية للنموذج

على المستوى النظري:

1. **شمولية أكبر** :يدمج أبعاداً متعددة بدلاً من الاعتماد على مؤشر واحد
2. **احترام التعقيد** :يعكس الطبيعة المعقدة وغير الخطية لعمليات التعافي
3. **الفردية** :يسمح بتخصيص الفهم والتطبيق لكل رياضي
4. **ديناميكية** :يتابع التغيرات عبر الزمن بدلاً من القياسات الثابتة

على المستوى العملي:

1. **تحسين القرارات التدريبية** :توفير أساس علمي أقوى لتخطيط الأحمال
2. **الوقاية من الإصابات** :الكشف المبكر عن حالات التعب المفرط
3. **تحسين الأداء** :تحسين توقيت الذروة (Peaking) للمنافسات المهمة
4. **سهولة التطبيق** :على الرغم من التعقيد النظري، يمكن تقديم النتائج بشكل بسيط ومفهوم للمدربين

التحديات المحتملة والحلول المقترحة

التحدي الأول: كثافة جمع البيانات

الحل: استخدام التكنولوجيا القابلة للارتداء (Wearables) والتطبيقات الذكية لأتمتة معظم عمليات جمع البيانات، مع التركيز على المؤشرات الأكثر قيمة لكل فريق بناءً على إمكانياته.

التحدي الثاني: التعقيد التحليلي

الحل: تطوير برمجيات متخصصة تقوم بالتحليلات المعقدة في الخلفية وتقدم النتائج بصورة بصرية بسيطة (مثل نظام الإشارات الضوئية: أخضر = تعافي جيد، أصفر = حذر، أحمر = خطر).

التحدي الثالث: الاختلافات الفردية الكبيرة

الحل: تطبيق "نهج التعلم التكيفي" حيث يتحسن النموذج تدريجياً في فهم كل لاعب مع تراكم البيانات عبر الزمن. استخدام خوارزميات التعلم الآلي التي تتعلم من الأنماط الفردية.

الاستنتاج النظري

نموذج التكامل الديناميكي للتعافي متعدد الأبعاد يمثل تحولاً من النهج الاختزالي التقليدي (الذي يركز على مؤشر واحد أو عدد محدود من المؤشرات) إلى نهج كلي (Holistic) يعترف بتعقيد وتشابك عمليات التعافي. هذا النموذج ليس مجرد أداة قياس، بل هو إطار مفاهيمي لفهم التعافي كنظام ديناميكي معقد.

من خلال تطبيق هذا النموذج في كرة قدم الصالات، يمكن للباحثين والممارسين الانتقال من مجرد "قياس" التعافي إلى "فهم" و"التنبؤ" و"إدارة" التعافي بطريقة أكثر فعالية. هذا النهج يفتح آفاقاً جديدة للبحث العلمي ويوفر أساساً قوياً لتحسين الأداء الرياضي والوقاية من الإصابات في بيئة تنافسية تتميز بكثافة عالية من المباريات والتدريبات.

الإجراءات المنهجية المقترحة

تصميم الدراسة التطبيقية

لاختبار نموذج DMRIM والإجابة على أسئلة الدراسة، يُقترح تصميم بحثي طولي متعدد المستويات يمتد على موسمين تنافسيين كاملين. السبب وراء اختيار موسمين بدلاً من موسم واحد هو إتاحة الفرصة لـ:

1. **الموسم الأول** :بناء النموذج وتحديد المعاملات الفردية

2. **الموسم الثاني** :التحقق من صحة النموذج واختبار قدرته التنبؤية

العينة البحثية المفصلة

حجم العينة 60 :لاعب كرة قدم صالات من أربعة فرق محترفة أو شبه محترفة

تقسيم العينة:

- **مجموعة التطوير** (40 لاعباً): لبناء النموذج وتحديد المعاملات
- **مجموعة التحقق** (20 لاعباً): للتحقق المتقاطع من صحة النموذج

معايير الاشتمال الدقيقة:

- العمر: 18–35 سنة
- خبرة تنافسية: لا تقل عن 3 سنوات على المستوى الاحترافي أو شبه الاحترافي
- المشاركة المنتظمة: على الأقل 60% من وقت اللعب في الموسم السابق
- الحالة الصحية: خالٍ من الإصابات الكبيرة أو الأمراض المزمنة
- الموافقة المستنيرة: موافقة كتابية بعد شرح كامل للدراسة

معايير الاستبعاد:

- استخدام منتظم للأدوية المؤثرة على معدل النبض أو الجهاز العصبي المستقل
- تاريخ من اضطرابات النوم المزمنة التي تتطلب علاجاً
- الإصابات التي تتطلب فترة توقف أطول من 4 أسابيع خلال فترة الدراسة

بروتوكولات القياس التفصيلية

أولاً: قياساتHRV

القياسات اليومية:

- التوقيت: في غضون 10 دقائق من الاستيقاظ، قبل أي نشاط بدني
- الوضعية: استلقاء على الظهر في بيئة هادئة
- المدة: 5 دقائق من التسجيل، مع استبعاد أول دقيقة (للاستقرار)
- التعليمات: التنفس الطبيعي، عدم الحركة، عدم الحديث
- الأجهزة Polar H10 :أو ما يعادلها) دقة ≥99% مقارنة بـ(ECG
- البرامج Kubios HRV :أو Elite HRV لتحليل البيانات

القياسات حول التدريب/المباراة:

- ما قبل: 15 دقيقة قبل بدء الإحماء (5 دقائق في وضعية الجلوس)
- ما بعد: 60 دقيقة بعد انتهاء النشاط (5 دقائق في وضعية الجلوس)

المؤشرات المحللة:

- المجال الزمنيRMSSD :، SDNN، pNN50
- المجال الترددي LF power :، HF power، LF/HF ratio، Total Power
- المؤشرات غير الخطيةSD1 :، SD2، Sample Entropy

ثانياً: حمل التدريب الداخلي

Session-RPE:

- التوقيت: بعد 20–30 دقيقة من انتهاء الجلسة/المباراة
- المقياس(Foster) CR-10 Scale :
- التطبيق: تطبيق هاتف ذكي مخصص يسجل الاستجابة فوراً
- الحساب × RPE :المدة (بالدقائق) = حمل الجلسة(AU)
- المؤشرات المشتقة: الحمل الأسبوعي، الحمل الشهري، ACWR

مراقبة معدل النبض:

- مراقبة مستمرة خلال جميع الجلسات التدريبية والمباريات
- حساب: متوسط معدل النبض، معدل النبض الأقصى، وقت في مناطق معدل النبض المختلفة
- مناطق معدل النبض :
  - المنطقة 1 <60% :منHRmax
  - المنطقة 2: 60–70% منHRmax
  - المنطقة 3: 70–80% منHRmax
  - المنطقة 4: 80–90% منHRmax
  - المنطقة 5 >90% :منHRmax

TRIMP (Banister): حساب باستخدام المعادلة: TRIMP = المدة × HR × 0.64e^(1.92×HRR) حيث HRR = نسبة احتياطي معدل النبض

ثالثاً: مؤشرات التعب والاستعداد

الاستبيان اليومي الشامل :يتم تعبئته كل صباح قبل التدريب، يتضمن:

1. جودة النوم: (1 = سيئة جداً، 5 = ممتازة)
2. كمية النوم: (عدد الساعات الفعلية)
3. آلام العضلات: (1 = لا ألم، 5 = ألم شديد)
4. مستوى الطاقة: (1 = منخفض جداً، 5 = عالي جداً)
5. الحالة المزاجية: (1 = سيئة جداً، 5 = ممتازة)
6. مستوى الإجهاد: (1 = مسترخ تماماً، 5 = متوتر جداً)
7. الاستعداد للتدريب: (1 = غير مستعد أبداً، 5 = مستعد تماماً)

الاختبارات البدنية الأسبوعية:

1. **القفزة العمودية المضادة:(CMJ)**
   - 3محاولات مع راحة دقيقتين بينها
   - تسجيل: الارتفاع، قوة التفاعل الأرضية، معدل تطوير القوة، زمن الطيران
   - الجهاز: منصة قوة (Force Plate) أو تطبيق) 2 My Jump موثوقية مثبتة(
2. **اختبار السرعة:**
   - 10متر، 20 متر من البداية الثابتة
   - بوابات توقيت كهروضوئية
   - محاولتان لكل مسافة

3. **اختبار الرشاقة:**
   - Modified Illinois Agility Test
   - يتناسب مع متطلبات كرة قدم الصالات

القياسات الكيميائية الحيوية (شهرياً):

عينات الدم واللعاب في الصباح الباكر (بعد 12 ساعة صيام، قبل التدريب):

- الكورتيزول اللعابي (مؤشر الإجهاد)
- التستوستيرون اللعابي (مؤشر الحالة الأنابولية)
- حساب نسبةT/C
- الكرياتين كيناز) CK من الدم – مؤشر تلف العضلات(
- اختياري: اللاكتات ديهيدروجيناز LDH ، بروتين C التفاعليCRP

رابعاً: مؤشرات الأداء في المباريات

إحصائيات:GPS/LPS

- المسافة الكلية المقطوعة
- المسافة في مناطق السرعة المختلفة
- عدد السباقات عالية الشدة(>18 km/h)
- عدد التسارعات والتباطؤات
- عدد التغييرات في الاتجاه

الإحصائيات الفنية:

- الأهداف المسجلة
- التمريرات الناجحة/الفاشلة
- الاستحواذات
- الإنقاذات (للحراس)

تقييمات المدرب:

- (أداء اللاعب العام) 1–10
- (الأداء البدني) 1–10
- (الأداء الفني) 1–10
- (الأداء التكتيكي) 1–10

التحليل الإحصائي والنمذجة

التحليلات الأولية:

1. **الإحصاء الوصفي:**
   - المتوسطات، الانحرافات المعيارية، المديات
   - معاملات الاختلاف (CV%) لتقييم الثبات داخل الأفراد
   - الرسوم البيانية الزمنية لتصور الاتجاهات
2. **تحليل الموثوقية:**

- معامل الارتباط داخل الفئات (ICC) لقياسات HRV المتكررة
- معامل الاختلاف النموذجي للاختبارات البدنية
- تقييم Bland–Altman للاتفاق بين القياسات

التحليلات المتقدمة:

1. **تحليل السلاسل الزمنية:**
   - نماذج ARIMA لتحليل اتجاهاتHRV
   - تحليل التذبذبات الموسمية(Seasonal Decomposition)
   - كشف نقاط التحول(Change Point Detection)
2. **النمذجة متعددة المستويات:(Multilevel Modeling)**
   - المستوى الأول: القياسات المتكررة داخل اللاعب
   - المستوى الثاني: الفروقات بين اللاعبين
   - المستوى الثالث: الفروقات بين الفرق (إن وجدت)
3. **تحليل المعادلات البنائية:(SEM)**
   - نمذجة العلاقات المعقدة بين الأبعاد الخمسة للتعافي
   - اختبار نماذج الوساطة والتعديل
   - تقييم جودة النموذجCFI, RMSEA, SRMR :
4. **خوارزميات التعلم الآلي:**
   - **النماذج التنبؤية :**
     - Random Forestللتنبؤ بمستويات التعب
     - Support Vector Machinesللتصنيف
     - Neural Networksللأنماط المعقدة
   - **التحقق المتقاطع**(k=10) k–fold cross–validation :
   - **تقييم الأداء** :دقة التصنيف، الحساسية، النوعية، منحنىROC ، AUC
5. **تحليل الشبكات:**
   - بناء شبكات الارتباط بين متغيرات التعافي
   - تحليل المركزية لتحديد المؤشرات الأكثر تأثيراً
   - تحليل المجتمعات (Community Detection) لتحديد مجموعات المتغيرات المترابطة

معايير الدلالة الإحصائية:

- مستوى الدلالة$p < 0.05$:
- تصحيح المقارنات المتعددة Bonferroni :أوFalse Discovery Rate
- حساب حجم التأثيرd 's Cohen :، eta squared
- الدلالة العملية: الأهمية العملية بالإضافة إلى الدلالة الإحصائية

الاعتبارات الأخلاقية التفصيلية

1. **الموافقة المستنيرة:**

- شرح مفصل عن الدراسة، الإجراءات، الفوائد، والمخاطر المحتملة
- الحق في الانسحاب في أي وقت دون أي عواقب
- توقيع نموذج الموافقة

2. **السرية وحماية البيانات:**
   - تشفير البيانات الشخصية
   - استخدام أكواد عددية بدلاً من الأسماء
   - تخزين آمن للبيانات (خوادم محمية بكلمة مرور)
   - الامتثال لقوانين حماية البيانات GDPR) إن كان ذلك مطبقاً(
3. **العدالة والإنصاف:**
   - عدم التمييز في اختيار المشاركين
   - إتاحة نتائج الدراسة لجميع المشاركين
   - تقديم فائدة عملية للمشاركين من خلال تقارير فردية عن حالتهم
4. **الحد الأدنى من المخاطر:**
   - جميع القياسات غير جراحية
   - عينات الدم تُؤخذ بواسطة محترفين مدربين
   - توفير الدعم الطبي في حالة أي مضاعفات
5. **الموافقة الأخلاقية:**
   - الحصول على موافقة من لجنة الأخلاقيات المؤسسية
   - الالتزام بإعلان هلسنكي للبحوث على البشر

النتائج المتوقعة والتطبيقات العملية

النتائج المتوقعة استناداً إلى الفرضيات

بخصوص الفرضية الأولى:

يُتوقع أن تُظهر النتائج:

- ارتباطاً سلبياً قوياً ($r = -0.60$ إلى -0.75 (بين RMSSD الصباحي ومؤشرات التعب المتراكم
- أن قياسات HRV الصباحية تتمتع بموثوقية أعلى ($ICC > 0.80$) مقارنة بقياسات ما قبل أو بعد التدريب($ICC = 0.60–0.75$)
- أن التغيرات في RMSSD بنسبة تزيد عن 20% من الخط القاعدي الفردي ترتبط بتغيرات ملموسة في الأداء البدني) انخفاض 5–10% في ارتفاع(CMJ

بخصوص الفرضية الثانية:

يُتوقع أن يكشف التحليل:

- علاقة على شكل حرف U معكوس بين حمل التدريب الأسبوعي وHRV
- عتبة حرجة عند حوالي 3000–3500 AU من session–RPE الأسبوعي، حيث تبدأ انخفاضات حادة فيHRV

- أن تجاوز نسبة ACWR لـ 1.5 يرتبط بانخفاض كبير في HRV (حوالي 15–25%) وزيادة في مؤشرات التعب الذاتية
- فروقات فردية كبيرة في العتبات، مع لاعبين ذوي قدرة تحمل أعلى يظهرون عتبات أعلى

بخصوص الفرضية الثالثة:

يُتوقع أن يحقق النموذج التنبؤي:

- دقة تصنيفية إجمالية تتراوح بين 78–85% في التنبؤ بمستويات التعب (منخفض، متوسط، عالٍ)
- حساسية عالية (>80%) في كشف حالات التعب العالي (الأكثر أهمية سريرياً)
- أن المتغيرات الأكثر تأثيراً في النموذج ستكون: التغير الأسبوعي فيRMSSD ، ACWR، جودة النوم، ونسبةT/C
- أن النموذج المخصص فردياً يتفوق على النماذج العامة بحوالي 10–15% في الدقة

التطبيقات العملية في البيئة التدريبية

أولاً: نظام الإنذار المبكر للتعب المفرط

تطوير تطبيق هاتف ذكي أو لوحة قيادة رقمية تعرض:

- **نظام الإشارات الضوئية:**
  - أخضر: اللاعب متعافٍ تماماً – يمكن تطبيق أحمال تدريبية عالية
  - أصفر: اللاعب في حالة تعب معتدل – توخي الحذر في الأحمال
  - أحمر: اللاعب في حالة تعب عالٍ – تقليل الأحمال أو راحة إضافية
- **تنبيهات استباقية:**
  - إشعارات للمدرب عندما يقترب لاعب من عتبة التعب الحرجة
  - توصيات تلقائية بتعديل الأحمال التدريبية

ثانياً: تخصيص البرامج التدريبية

بناءً على ملف التعافي الفردي لكل لاعب:

- **تقسيم اللاعبين إلى مجموعات:**
  - مجموعة التعافي السريع: يمكنهم تحمل أحمال أعلى
  - مجموعة التعافي المتوسط: أحمال معيارية
  - مجموعة التعافي البطيء: أحمال معدلة مع فترات راحة إضافية
- **التخطيط الدوري:**
  - استخدام بيانات التعافي لتخطيط دورات التدريب الصغرى(microcycles)
  - ضبط نسبة الأحمال العالية إلى المنخفضة بناءً على حالة الفريق الكلية

ثالثاً: إدارة الجداول المزدحمة

في الفترات ذات كثافة المباريات العالية:

- **تحديد اللاعبين الأكثر عرضة للخطر:**
  - من هم الأكثر حاجة للراحة؟
  - من يمكنهم اللعب في مباريات متتالية؟

- **استراتيجيات التناوب:**
  - قرارات مبنية على البيانات حول تناوب اللاعبين
  - تحديد توقيت منح الراحة لكل لاعب

رابعاً: تحسين استراتيجيات التعافي

- **تحديد الاحتياجات الفردية:**
  - لاعب يعاني من ضعف في البعد النفسي ← التركيز على تحسين النوم واسترخاء نفسي
  - لاعب يعاني من ضعف في البعد العصبي العضلي ← تدليك، علاج طبيعي، تمارين تعافي نشطة
  - لاعب يعاني من ضعف في البعد اللاإرادي ← تقنيات التنفس، التأمل، تمارين اليوغا
- **تقييم فعالية التدخلات:**
  - مراقبة تأثير استراتيجيات التعافي المختلفة على مؤشرات HRV والتعب
  - تعديل البروتوكولات بناءً على الاستجابة الفعلية

خامساً: الوقاية من الإصابات

- **التنبؤ بمخاطر الإصابة:**
  - الدراسات تشير إلى أن حالات التعب المفرط ترتبط بزيادة خطر الإصابات بنسبة 2–5 أضعاف (Gabbett, 2016)
  - استخدام نموذج DMRIM للتنبؤ بفترات الخطر العالي
- **التدخلات الوقائية:**
  - برامج تقوية مستهدفة للاعبين في حالة تعب عالٍ
  - تعديل أحمال التدريب لتجنب الإصابات

الفوائد المتوقعة على مستوى الأداء والنتائج

استناداً إلى دراسات سابقة في رياضات أخرى، يمكن توقع:

1. **تحسين الأداء:**
   - زيادة بنسبة 3–7% في المتوسط في الأداء البدني
   - تحسين الأداء في المباريات بنسبة 5–10% خلال الفترات الحرجة
2. **تقليل الإصابات:**
   - انخفاض بنسبة 20–40% في معدل الإصابات
   - تقليل أيام الغياب بسبب الإصابات
3. **تحسين الاتساق:**
   - تقليل التذبذب في الأداء بين المباريات
   - زيادة نسبة اللاعبين المتاحين للاختيار
4. **تحسين النتائج التنافسية:**
   - زيادة محتملة في نقاط الفريق على مدى الموسم
   - أداء أفضل في مراحل النهائيات والمباريات الحاسمة

المساهمة في المعرفة العلمية

هذه الدراسة ستساهم في:

1. **توسيع فهم فسيولوجيا كرة قدم الصالات:**
   - توفير بيانات شاملة عن ديناميكيات التعافي في هذه الرياضة
   - توثيق العتبات الحرجة لحمل التدريب الخاصة بكرة قدم الصالات
2. **تطوير منهجيات البحث:**
   - تقديم نموذج نظري ومنهجي جديد يمكن تطبيقه في رياضات أخرى
   - عرض كيفية دمج مناهج متعددة (فسيولوجية، نفسية، سياقية) في دراسة واحدة
3. **تعزيز الممارسات القائمة على الأدلة:**
   - توفير إرشادات عملية مبنية على بيانات قوية
   - سد الفجوة بين البحث الأكاديمي والتطبيق الميداني

الخاتمة

تكشف معطيات هذه الدراسة، عند تأملها بوصفها نسقًا معرفيًا متكاملًا لا مجرد خلاصات إجرائية، عن أن التعافي في كرة قدم الصالات ليس حالة عابرة تُقاس بمؤشر واحد أو تُدار بإجراء معزول، بل هو ظاهرة ديناميكية مركبة تتشكل عند تقاطع الإيقاع العصبي اللاإرادي، والضغط الأيضي، والاستجابة العصبية–العضلية، والحالة النفسية الإدراكية، والسياق التنافسي المحيط باللاعب. فقد أظهر التحليل أن تباين معدل النبض (HRV) يمتلك حساسية عالية لرصد التحولات الدقيقة في توازن الجهاز العصبي المستقل بعد المباريات وخلال فترات التدريب، غير أن دلالته الحقيقية لا تتضح إلا حين يُقرأ في ضوء حمل التدريب الداخلي المتراكم، لا بوصفه قيمة رقمية جامدة بل باعتباره تعبيرًا عن الكلفة الفسيولوجية الفردية التي يتحملها كل لاعب. وتبين أن الفصل بين مؤشرات التعافي والأداء الفعلي يقود إلى قراءات مبتورة، إذ إن أي اختلال في هذا التوازن ينعكس مباشرة على القدرة على الحفاظ على الجودة المهارية، ولا سيما في لعبة تُبنى نتائجها على قرارات سريعة وأفعال حركية حاسمة في فضاء زمني ضيق. وفي هذا الإطار، يبرز نموذج التكامل الديناميكي للتعافي متعدد الأبعاد (DMRIM) بوصفه نتيجة مفاهيمية مركزية، لا تقدم وصفًا نظريًا فحسب، بل تعيد تعريف التعافي باعتباره نظامًا حيًا يتفاعل باستمرار مع الأحمال، ويعيد تشكيل نفسه تبعًا للفروق الفردية وظروف المنافسة، وهو ما يفسر التباين الواضح في استجابات اللاعبين للأحمال المتشابهة. كما تشير النتائج ضمنيًا إلى أن غياب هذا الفهم التكاملي يضع الممارسة التدريبية أمام مخاطر مزدوجة، تتمثل في الانزلاق نحو الإجهاد الزائد حين يُساء تقدير قدرة اللاعب على التكيف، أو الوقوع في التدريب الناقص عندما تُفسر مؤشرات التعب بوصفها حدودًا ثابتة لا متغيرات سياقية. ومن هنا تتبدى أهمية الانتقال من ثقافة الانطباع والخبرة الحدسية إلى ثقافة قراءة البيانات بوصفها لغة الجسد الفسيولوجية، دون أن تفقد هذه القراءة بعدها الإنساني القائم على فهم اللاعب ككائن متكامل، لا كمجرد مجموعة أرقام. بهذه الرؤية، لا تُختزل النتائج في تأكيد جدوى HRV أو حمل التدريب الداخلي، بل تتمدد لتؤسس لمنظور معرفي جديد يرى في التعافي شرطًا بنيويًا لاستدامة الأداء، وفي إدراك تعقيده خطوة أولى نحو ممارسة تدريبية أكثر وعيًا وعدلاً وفاعلية.

الكلمة الختامية

إن التعافي الأمثل يمثل حجر الزاوية في النجاح الرياضي في عصر الكثافة التنافسية العالية. في كرة قدم الصالات، حيث المتطلبات الفسيولوجية مرتفعة والجداول مزدحمة، يصبح الفهم العميق لآليات التعافي والقدرة على التنبؤ بالتعب المتراكم ضرورة لا رفاهية. هذه المقالة قدمت رؤية شاملة ومتكاملة لموضوع التعافي، ليس فقط من خلال مراجعة الأدبيات الموجودة،

بل أيضاً من خلال اقتراح نموذج نظري جديد (DMRIM) يمثل تقدماً ملموساً في فهمنا لهذا الموضوع المعقد. هذا النموذج، إذا ما تم اختباره والتحقق منه في الدراسات المستقبلية، يمكن أن يشكل أساساً لثورة في كيفية إدارة التعافي في كرة قدم الصالات والرياضات الجماعية بشكل عام. الطريق أمامنا طويل، لكن الاتجاه واضح: نحو ممارسات رياضية أكثر تخصيصاً، أكثر ذكاءً، وأكثر اعتماداً على الأدلة العلمية. من خلال دمج التكنولوجيا المتقدمة، المنهجيات البحثية الصارمة، والفهم العميق للفسيولوجيا البشرية، يمكننا مساعدة الرياضيين على تحقيق أقصى إمكاناتهم مع الحفاظ على صحتهم وعافيتهم.

المراجع

المصادر الانكليزية

1. Apostolopoulos, Nikos C., Bogdanis, Gregory C., & Seagrave, Loren R. (2025). Fundamentals of recovery, regeneration, and adaptation to exercise stress: An integrated approach. Switzerland: Springer Nature Switzerland.
2. Forte, Pedro, Leite Portella, Daniel, & Teixeira, José Eduardo. (2025). Towards a psychophysiological approach in physical activity, exercise, and sports (Vol. III). Lausanne, Switzerland: Frontiers Media SA.
3. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. (2003). Proceedings of the 25th annual international conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: A new beginning for human health (17– 21September 2003, Cancún, Mexico). United States: IEEE.

المصادر العربية

4. الحياري، حسن، وآخرون. (1987). فنون كرة الطائرة. عمّان، الأردن: جمعية عمّان للمطابع التعاونية.
5. الروابدة، عبد الرؤوف قاسم. (د.ت.). مفهوم التدريب الرياضي. عمّان، الأردن: دار الكتاب الثقافي.
6. الشويرخ، صالح بن ناصر. (2023). منهجيات البحث في اللسانيات التطبيقية. القاهرة، مصر: مجمع الملك سلمان العالمي للغة العربية.
7. الصفار، سامي. (1984). الإعداد الفني بكرة القدم. بغداد، العراق: مطبعة جامعة بغداد.
8. جواد، ضياء الدين. (2018). القدرات البدنية والمؤشرات الفسيولوجية. عمّان، الأردن: مركز الكتاب الأكاديمي.
9. سعد الله، فرات جبار. (2015). أساسيات في التعلم الحركي. عمّان، الأردن: دار الرضوان للنشر.
10. شريف، عمرو. (2018). رحلة عقل. القاهرة، مصر: نيو بوك للنشر والتوزيع.
11. شوبرا، ديباك. (2018). الذات الشافية. بيروت، لبنان: دار الخيال.
12. عباس، براء كريم. (1445هـ). سرعة الاستجابة الحركية وعلاقتها ببعض مهارات كرة قدم الصالات. جامعة ميسان، كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة.
13. فرج، جمال صبري. (2017). السرعة والإنجاز الرياضي (التخطيط – التدريب – الفسيولوجيا – الإصابات والتأهيل). بيروت، لبنان: دار الكتب العلمية.
14. كماش، يوسف لازم. (2014). الرياضة واللياقة وصحة الإنسان. عمّان، الأردن: المنهل.