الاختلافات التكنيكية كمتطلبات لتطوير النواتج البيو ميكانيكية في الدوائر الكبرى على جهاز العقلة للاعبي المستويات العليا في الجمباز (دراسة مقارنة)

* أ.م.د/ أحمد طلحة حسام الدين

** أ.م.د/ ياسر علي قطب

المقدمة ومشكلة البحث

يعتبر الوصف الكمي والكيفي للأداء الرياضي من أهم تطبيقات الميكانيكا الحيوية، فأداء حركة الإنسان يمكن تحسينه بطرق كثيرة، الا ان توافر المعلومات الأساسية للميكانيكا الحيوية عن أكثر أنماط الحركة فعالية والأكثر أمانا وتحديد التمارين ذات الصلة لتحسين الحركة البشرية يعتبر من الأمور ذات الأهمية القصوى في تحسين الأداء، كما أنها تعتبر مناسبة تمامًا لدراسة التكنيك بالوصف والتطوير والتحسين (Prassas, Kwon, & Sands, ٢٠٠٦). فمعظم العاملين في المجال الرياضي كمدربين أو معلمين يصفون التغييرات المطلوبة ويعطون التعليمات التي تساعد الرياضي في تحسين الأداء بناءا علي الافادات العلمية المستنتجة من هذه المعلومات، وعند الحديث عن وصف الأداء فإن الميكانيكا الحيوية هي الأكثر فائدة في وصف التكنيك خاصة في الأنشطة التي يكون فيها الأداء الفني هو العامل المسيطر (Knudson, ٢٠٠٧).

ولقد تطورت المهارات التحضيرية في رياضة الجمباز الفني تتطورا ملحوظا في السنوات الأخيرة لتوفير متطلبات أداء معظم المهارات وخاصة جهاز العقلة، وقد يرجع السبب في هذا التطور الي عدة عوامل من أهمها التعديلات التي أدخلت على التصميم الهندسي لأجهزة الجمباز والتنافس الكبير بين شركات تصنيع الأجهزة المعتمدة من الاتحاد الدولي، حتى تحقق هذه الأجهزة أعلي درجات الأمان بالإضافة الي فتح المجال امام اللاعبين لتطوير مهاراتهم وزيادة درجات الصعوبة.

ومن أكثر هذه الأجهزة تطورا في تصميمها الهندسي جهازي العقلة في جمباز الرجال والعارضتين مختلفتي الارتفاع في جمباز السيدات، حيث يتميز الأداء على هذين الجهازين بالاستمرارية في أداء الجملة الحركية من مهارة البداية وحتى نهاية الجملة، وقد أدي هذا التطوير الي فتح أفاق جديدة لابتكار وأداء مهارات داخل الجملة الحركية، ما كانت لتتحقق دون حدوثه، حيث اعتمد هذا التطوير على محاولة ابتكار خامات تصنع منها هذه الأجهزة يكون لها خاصية اختزان الطاقة لاستغلالها في توقيتات محددة من الأداء.

ويتكون روتين العقلة من عدد من مهارات الدوران وعناصر الطيران ومهارات التحرر وإعادة القبض. يتم استخدام مهارة الدورة الكبرى حول العقلة (Grand) لربط تقنيات الدوران وتوفير الأوضاع المطلوبة لنجاح الأداء في مهارات التحضير، وهي أحد المهارات التحضيرية التي تمثل أهمية بالغة في نجاح تنفيذ لاعب الجمباز لمختلف المهارات الفنية وخاصة مهارات التحرر وإعادة القبض ونهايات الجمل الحركية (M. J. Hiley & Yeadon, ٢٠٠١).

ويرتبط النجاح في أداء مهارات فنية عالية الصعوبة بقدرة لاعب الجمباز علي توفير بعض المتغيرات

الميكانيكية المميزة للأداء والتي يصفها (Prassas et al., ٢٠٠٦) : ١) بالقدرة علي تحقيق الارتفاع ٢) القدرة علي الدوران حول محور أو أكثر ٣) القدرة علي مرجحة الجسم وأجزاءه المختلفة ٤) القدرة علي تحقيق الهبوط ٥) التوازن. وتؤثر ثلاثة عوامل على أداء مهارة الدورة الكبرى وهي الاحتكاك بين يدي اللاعب والجهاز ومقاومة الهواء والعزوم الناتجة عن كل من وزن اللاعب وتأثير الجاذبية الأرضية. وبشكل عام، يؤدي الاحتكاك ومقاومة الهواء إلى إعاقة الحركة الدورانية، في حين يعزز العزم الناتج من قصور الجسم السرعة في اتجاه الهبوط ويعارضه في اتجاه الصعود.

ومن المهارات التي تطورت طريقة الأداء فيها هي مهارات التحضير كالدوائر الكبرى سواء الامامية أو الخلفية، حيث بدي واضحا وجود اختلافات في طريقة أدائها كتحضير لمهارات أكثر صعوبة وبصفة خاصة في نهاية الجمل الحركية وبعض مهارات التحرر وإعادة القبض، ولقد قام لاعبي الجمباز بتطوير تكنيك أداء الدورات الكبرى التحضيرية كمتطلب لارتفاع مستوي المنافسة في البطولات العالمية بهدف تطوير مهارات ذات صعوبات مرتفعة مثل أداء دورتين هوائيتين مستقيمتين مع عدد من اللفات حول المحور الطولي كنهاية للجملة الحركية ، حيث يصنف الباحثين تكنيك أداء مهارة الدورة الكبرى لنوعين، يسمي النوع الأول بالتكنيك التقليدي (Traditional) والنوع الثاني بالتكنيك المجوف (Scooped) (Kerwin, ١٩٩٩)، في التكنيك التقليدي يحافظ لاعب الجمباز علي تكوين جسم شبة مستقيم من وضع الوقوف على اليدين فوق العارضة ثم يحدث قبض خفيف في مفصلي الفخذين حتي قبل لحظة المرور بالوضع العمودي أسفل العارضة، يتبعه مد زائد في الجسم لحظة مرور اللاعب أسفل العارضة وخلال مرحلة المرجحة لأعلي يحافظ اللاعب علي قبض خفيف في مفصلي الفخذين ليمتد الجسم مرة اخري لوضع الوقوف فوق العارضة أو للقيام بمهارة أخري من مهارات التحرر والطيران.

أما التكنيك المجوف فيتميز بالقبض في مفصلي الفخذين والكتفين عند المرور اعلي العارضة وبداية مرحلة المرجحة لأسفل يتبعه مد زائد ،وتتأخر "ركلة الصعود" بالمقارنة مع التكنيك التقليدي ، وتظهر بشكل واضح في قبض مفصلي الفخذ (piking) في وقت متأخر من مرحلة الصعود ، والذي يستمر حتي أعلي مستوي العارضة (M. J. Hiley & Yeadon, ٢٠٠٣)، كلا الطريقتين مناسب لإنتاج قدر كبير من كمية الحركة الدورانية (Michael J. Hiley & Yeadon, ٢٠٠٧). ومع ذلك، يعتبر التكنيك المجوف أكثر وظيفية لنظام تبادل الطاقة بين لاعب الجمباز وعارضة العقلة، خاصة عندما يكون الهدف هو تعظيم كمية الحركة الدورانية وتحسين زمن الطيران بعد التحرر(Arampatzis & Brüggemann, ١٩٩٩) . التكنيك المجوف قد يختلف أيضا من خلال توفير نافذة أوسع من الزمن للتحرر ولكن علي حساب نسبة أكبر من التعرض لأخطاء تتعلق بزاوية التحرر عن التقنية التقليدية (Heinen, Velentzas, & Vinken, ٢٠١٢) ولهذا السبب لا يستخدمه سوي لاعبي المستويات العليا ذوي الخبرة.

أهداف البحث

يهدف البحث الي تحديد الفروق في المتغيرات الميكانيكية الناتجة عن أداء مهارة الدورة الكبرى على

العقلة باستخدام نوعين مختلفين من التكنيك للاعبي المستويات العليا من خلال التعرف على المتغيرات التالية:

١. الأوضاع المختلفة التي يتخذها الجسم (زوايا الكتف، الفخذ).
٢. مسار مركز الثقل العام.
٣. كمية الحركة الدورانية.
٤. السرعة الرأسية والسرعة الزاوية.
٥. توقيتات تخزين الطاقة وإعادة استغلالها.

تساؤلات البحث

١. ماهي الاختلافات بين أوضاع الجسم المختلفة المتمثلة في زوايا الكتف والفخذ؟
٢. ماهي الفروق في مسار مركز ثقل الجسم؟
٣. هل توجد فروق في كمية الحركة الدورانية؟
٤. ماهي الفروق في السرعة الراسية والسرعة الزاوية؟
٥. ماهي توقيتات تخزين الطاقة وإعادة استغلالها؟

إجراءات البحث

أولا: منهج البحث

استخدم الباحث المنهج الوصفي عن طريق التحليل الحركي ثنائي الأبعاد لملائمته لتحقيق هدف وطبيعة البحث.

ثانيا: عينة البحث

عينة التحليل الحركي كانت أداء اللاعب الياباني كوهي يوشيمورا (Kohei Uchimura) في بطولة العالم ٢٠١٥ في جلوسكو، المملكة المتحدة، والتي احرز فيها اللاعب الميدالية الذهبية علي جهاز العقلة، ولقد اختار الباحث عينة التحليل بسبب تميز أداء اللاعب علي جهاز العقلة حيث احرز عدد كبير من الميداليات في البطولات الاولمبية لسبعة أعوام متتالية وبإجمالي ١٥ ميدالية ذهبية، ١٠ فضية، ٥ برونزية في مختلف البطولات العالمية.

جدول (١) توصيف عينة التحليل الحركي

السن	الطول	الوزن	الخبرة
٢٩ سنة	١٦٢سم	٥٢	٢٢ سنة

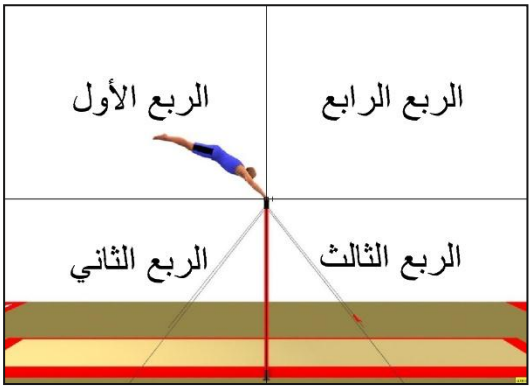
ثالثا: إجراءات التحليل

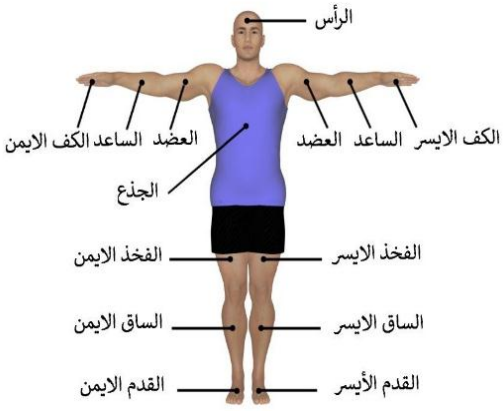
قام الباحث بإجراء التحليل الحركي ثنائي الابعاد للأداء الفني لمهارة الدورة الكبرى على العقلة فى يوم الثلاثاء الموافق ١-١-٢٠١٩باستخدام نوعين من تكنيك الأداء، واستخدم نموذج تحليل مكون من ١٤ نقطة مرجعية تمثل أجزاء جسم اللاعب أثناء مراحل الأداء المختلفة (شكل ١)، وتم وضع مركز النظام

الاحداثي على محور الدوران متمثلا في عارضة جهاز العقلة لتقسيم المستوي الموازي للحركة (السهمي) لأربعة أجزاء متساوية (شكل ٢).

واجري الباحث المزامنة بين الأداء الحركي للتكنيك التقليدي والمجوف حيث بدأ تحليل الإطارات من اللحظة التي كان مركز ثقل اللاعب فيها عند نهاية الربع الرابع وحتي اللحظة الأخيرة من الربع الثالث، وكان الفيديو المصور للأداء الحركي بسرعة ٢٥ اطار/ الثانية وبدقة ١٢٨٠ X ٧٢٠ ، واستخدم الباحث برنامج (Tracker ٥.٠.٥) للتحليل الحركي ،واستخدمت خاصية معادلة زوايا التصوير لتلافي أي أخطاء قد تؤثر في نتائج التحليل (Prospective Filter) وذلك لوجود محددات لاماكن وضع الات التصوير أثناء المنافسات العالمية وبسبب الطبيعة الفريدة للقيود المفروضة على لاعب الجمباز حيث يتم استخدام طريقة (٢-D DLT) أو الانتقال الخطي المباشر التي تتيح نتائج تحليل دقيقة حتي مع الاختلافات في زاوية التصوير (Brewin, ٢٠٠٣; Kwon, ٢٠٠٢) .

شكل (١) نموذج التحليل المستخد **شكل (٢) تقسيم المستوي السهمي وموضع نظام الاحداثيات**

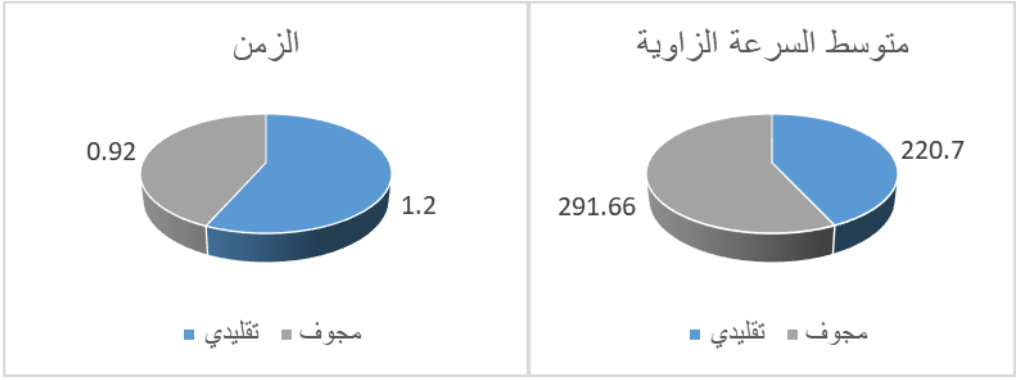


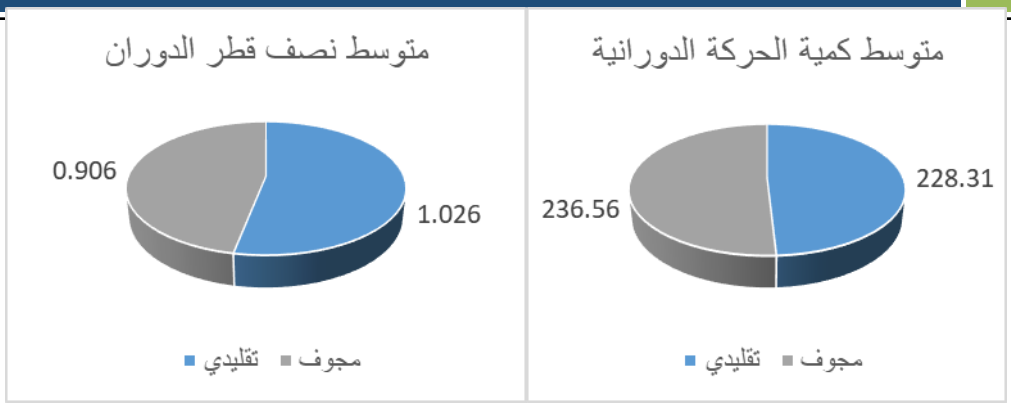


عرض ومناقشة النتائج

- التحليل الزمني:

استغرق زمن أداء الدورة الكبرى بالتكنيك التقليدي (١.٢ ثانية) مقارنة بالتكنيك المجوف (٠.٩٢ ثانية) وبفارق (٠.٢٨ ثانية) ولصالح التكنيك المجوف كما هو موضح بشكل (٣).





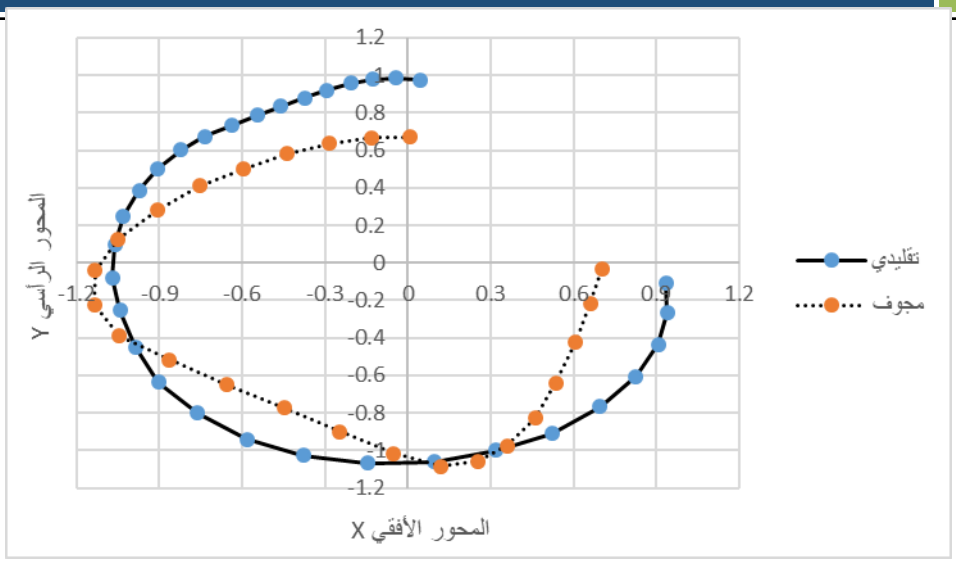
شكل (٣) الفروق البيوميكانيكية بين تكنيك أداء المهارة قيد البحث

وتميز التكنيك المجوف بمتوسط نصف قطر دوران (٠.٩٠٦ م) اقل من التكنيك التقليدي (١.٠٢٦م) وبفارق (٠.١٢ م) وكان احد أسباب الفروق الواضحة في متوسط السرعة الزاوية حيث بلغت (٢٩١.٦٦°/ث) للتكنيك المجوف و(٢٢٠.٧°/ث) للتكنيك التقليدي، وعلي الرغم من وجود فروق في المتغيرات البيوميكانيكية السابقة الا ان الفرق لم يكن كبيرا بين متوسط كمية الحركة الدورانية لمركز الثقل حول العقلة بين التكنيك المجوف (٢٣٦.٥٦ نيوتن.م.ث) والتكنيك التقليدي (٢٢٨.٣١ نيوتن.م.ث) وهي النتائج التي تتفق مع دراسة (Michael J. Hiley & Yeadon, ٢٠٠٧) و تؤكد علي ان اسباب استخدام اللاعبين ذوي المستويات العليا للتكنيك المجوف ترجع لمبدأ استغلال الطاقة المخزونة في عارضة العقلة وليس لكمية الحركة الدورانية.

وبالنظر الي المسار الحركي لمركز الثقل شكل (٤) تظهر الفروق بشكل أكثر وضوحا في الأوضاع التي يتخذها جسم اللاعب للتحكم في موضع مركز الثقل بالنسبة لمحور الدوران، حيث يبدأ اللاعب المهارة في التكنيك التقليدي وبداية الربع الأول بشكل جسم شبة مستقيم وبزاوية فخذ (١٦٩.٣°) وزاوية كتف (١٧٠.٣°) وهوة الوضع الذي حافظ علية اللاعب وحتى نهاية الربع الثاني من الأداء (١٧٩.١°) و (١٧٦.٩ °) على التوالي بخلاف حدوث مدد بسيط في مفصلي الفخذ والكتف.

ولم يختلف شكل الأداء بشكل كبير في الربع الثاني بخلاف المد الزائد في مفصلي الفخذ والذي يستمر في الزيادة باستمرار ليبلغ أقصى قيمة له في نهاية الربع الثاني (-١٥٩.٨°) حينما يكون جسم اللاعب أسفل عارضة العقلة مباشرة.

اما في الربع الثالث من الأداء فيستمر المد الزائد لمفصل الفخذ ليصل لأعلي قيمة له خلال مراحل الأداء المختلفة ليصل الي (-١٥١.٠°) يتبعه ثني سريع يسمي بركلة الصعود ليصل في نهاية الربع الثالث الي (١٤٩.٢°)، بالإضافة الي قبض في مفصلي الكتف يصل الي أقصي قيمة له (١٥٥.٥°) في نهاية المرحلة.



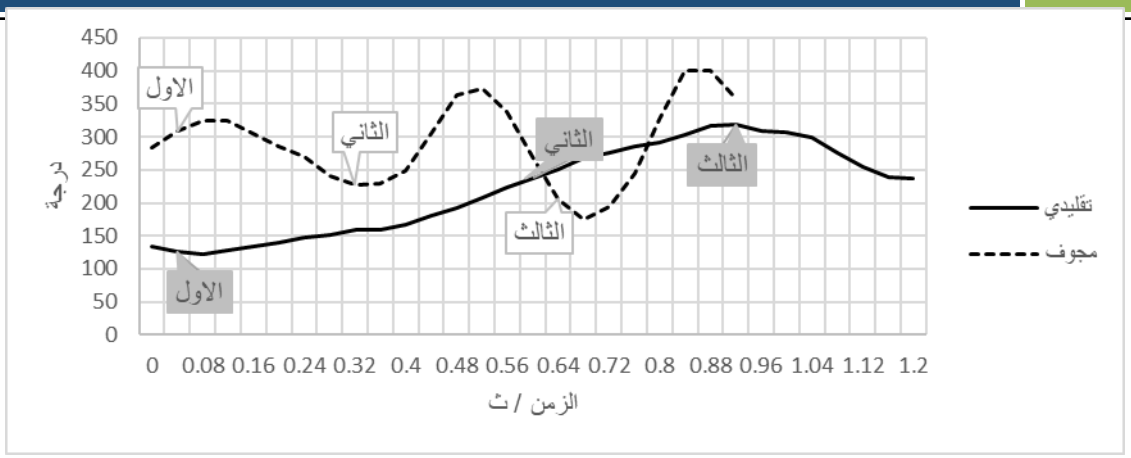
شكل (٤) مسار مركز ثقل الجسم

اما في التكنيك المجوف فيبدأ الأداء بشكل جسم منحني وهو سبب إطلاق اسم المجوف علية، حيث يكون هناك ثني كبير في مفصلي الفخذ والكتف (٨٨.٣°) و(١١٧.٣°) على التوالي في بداية الربع الأول من الأداء يتبعه مد في كلا المفصلين وحتى نهاية الربع الأول ليصل الي (١٧٢.١°) و(١٤٢.٩°).

ويتميز الربع الثاني بمد زائد كبير في مفصلي الفخذ يبدأ بقيمة (-١٦٨.٧°) ويصل الي أقصى قيمة له خلال هذه المرحلة (-١٤٢.٩°) ليبدأ هذا المد بالتناقص ليصل الي (-١٤٠.٧°) في نهاية المرحلة، كذلك المد الزائد في مفصلي الكتف والذي يصل الي (-١٦٨.٢°) في نهاية الربع الثاني وقبل لحظة مرور اللاعب أسفل العارضة مباشرة.

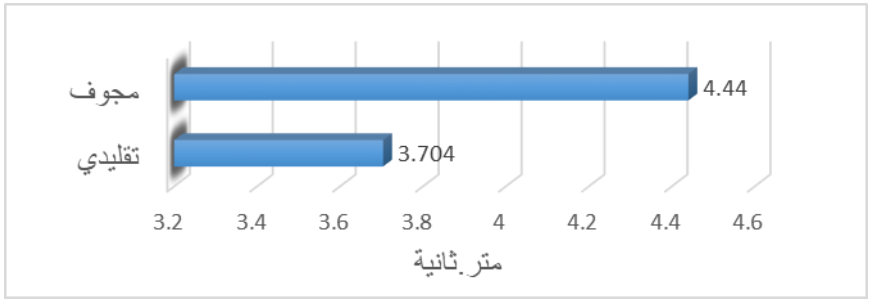
وفي الربع الثالث من الأداء بالتكنيك المجوف يبدأ اللاعب قبض مفصلي الفخذ بشكل مستمر (ركلة الصعود) ليصل الي أقصى قيمة له (١٢٨.٣°) وتتناقص هذه القيمة بمد بسيط لمفصلي الفخذ لتصل الي (١٤٠.٦°) وقبض في مفصلي الكتفين يصل الي (١١٧.٦°) في نهاية المرحلة.

وبالتالي فان الفروق الجوهرية في أوضاع الجسم التي يتخذها اللاعب تتضح بشكل أساسي في بداية الربع الأول من الأداء بزوايا مفاصل الفخذ (١٦٩.٣°) وزاوية كتف (١٧٠.٣°) للتكنيك التقليدي مقارنة بالتكنيك المجوف (٨٨.٣°) و(١١٧.٣°)، كما يختلف الأداء في الربع الثاني بوجود مد زائد كبير في مفصلي الفخذ للتكنيك المجوف (-١٤٢.٩°) مقارنة بالتكنيك التقليدي (-١٥٩.٨°)، كما تظهر بداية ركلة الصعود للتكنيك المجوف في الربع الثاني ومتقدمة عن ركلة الصعود في التكنيك التقليدي والتي تبدأ في الربع الثالث من الأداء.



شكل (٥) السرعة الزاوية خلال مراحل الأداء

اتصفت السرعة الزاوية لمركز ثقل الجسم (شكل ٥) في التكنيك التقليدي بزيادة مستمرة في المقدار وحتى بداية الربع الثالث لتبلغ (٢٣٧.٣°/ث) في نهاية الأداء، بينما تميزت السرعة الزاوية في التكنيك المجوف بالتذبذب خلال مراحل الأداء المختلفة لتصل في نهاية الأداء الي (٣٥٦.٨°/ث) ، ويرجع الباحث هذا التذبذب كنتيجة تحقيق اللاعب تغيير مفاجئ في شكل جسمه أثناء مهارة التحضير باستخدام التكنيك المجوف وتحكمه في بعد مركز ثقلة عن محور الدوران وبالتالي تخزين قدر من الطاقة التي تعتمد علي لدانة عارضة العقلة لاستغلالها لاحقا كطاقة حركية يمكن ان يكتسبها الجسم لحظة التحرر من العارضة وهو الامر الذي أدي الي زيادة السرعة الزاوية قبل لحظة التحرر ، كذلك فان التفوق الواضح في تحقيق سرعة رأسية عالية قبل لحظة التحرر (شكل ٦) هو أيضا احد اسباب استخدام اللاعبين للتكنيك المجوف في نهاية الجمل الحركية حيث تتطلب اكتساب اللاعب الارتفاع المناسب لتنفيذ النهايات الحركية ذات الصعوبات المرتفعة (Prassas, Kwon, & Sands, ٢٠٠٦) .

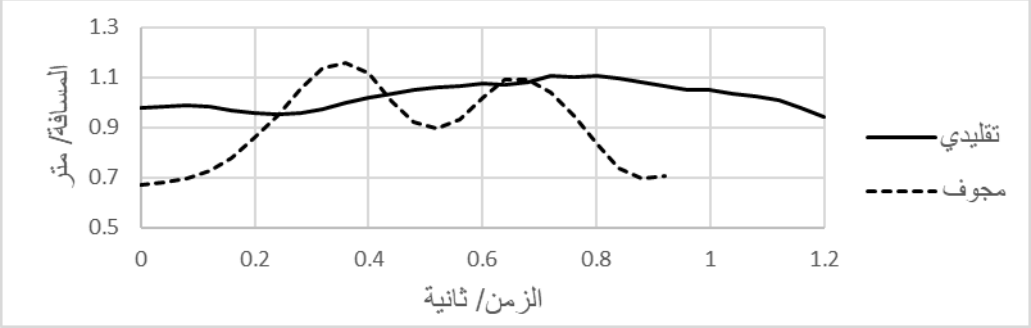


شكل (٦) السرعة الرأسية لمركز ثقل الجسم في لحظة التحرر

ونظرا الي ان الطاقة الميكانيكية قد تتحول من طاقة حركية الي طاقة وضع والعكس (Georgia State University – Department of Physics & Astronomy, ٢٠١٣; Livingston, ٢٠١١) فان كل ما يتخذه اللاعب من إجراءات أثناء أداء مهارة التحضير باستخدام التكنيك المجوف هو محاولة لزيادة الطاقة الميكانيكية الي أقصى مقادير لها لتبادل تخزينها واسترجاعها مع عارضة العقلة للاستفادة منها خلال مرحلة التحرر.

وبشكل عام فان مركز ثقل اللاعب يمثل بندول يتأرجح حول محور دوران، ويتم تحديد طول البندول

على أنه المسافة بين محور الدوران (أي العارضة) و مركز ثقل اللاعب ،حيث يتفق الباحث مع كل من (Stilling & Szyszkowski, ٢٠٠٢; Xin & Liu, ٢٠١٤) علي أن الاختلافات المناسبة في طول البندول تسمح بضخ الطاقة في النظام الميكانيكي المتمثل في جسم اللاعب والعقلة، وبالتالي التعويض عن الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك وعزم الجاذبية ، والتغييرات المرصودة في تكوين شكل الجسم تؤدي إلى تغييرات في طول البندول وهوة ما تم تأكيده في الدراسة الحالية (شكل ٤، ٧)



شكل (٧) التغير في نصف قطر الدوران أثناء مراحل الأداء

حيث وجد أن طول البندول يتفاوت كما هو متوقع بالنسبة للتكنيك التقليدي: فهو يزداد ببطء لأول مرة عند التأرجح أثناء مرحلة الهبوط، ثم انخفض بسرعة خلال الجزء الأول من المرحلة التصاعدية (بداية الربع الثالث) ، فمن خلال مراحل الإطالة البطيئة في طول البندول ، يتم فقدان القليل من الطاقة ، بينما خلال مرحلة التقصير السريعة يتم ضخ الطاقة الكافية في النظام (Arampatzis & Brüggemann, ١٩٩٩).

لكن الامر يختلف بالنسبة للتكنيك المجوف، حيث يزداد طول محور الدوران بشكل مفاجئ نتيجة للمد في مفاصل الجسم في بداية مرحلة الهبوط ليصل الي أقصي قيمة له (١.١٥٧ م) بعد لحظة عبور الجسم للمستوي الافقي للعارضة (بداية الربع الثاني)، ليبدأ في التناقص ثم التزايد ثم التناقص مرة أخري بشكل سريع في نهاية الأداء، وهوة ما يؤكد على حدوث عملية تخزين واسترجاع الطاقة الميكانيكية مرتين متتالين بعكس التكنيك التقليدي الذي يتم فيه تبادل الطاقة مرة واحدة فقط.

هذا بالإضافة الي ان ليس طول البندول فقط في حد ذاته هو الذي يحدد كمية الطاقة المفقودة أو المكتسبة. حيث يتم تحديد كمية الطاقة المفقودة أو المكتسبة حسب ناتج المعدل النسبي لتغيير طول البندول (Sevrez, Berton, Rao, & Bootsma, ٢٠٠٩) وهو ما يميز التكنيك المجوف حيث يحدث التغير في نصف قطر الدوران بمقدار أكبر وبمعدل أسرع منه في التكنيك التقليدي (شكل ٧).

الاستنتاجات

في ضوء نتائج البحث وفى حدود العينة التي قام الباحث بتحليلها والإجراءات المتبعة لعملية التحليل فانة يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

- استغرق زمن أداء الدورة الكبرى بالتكنيك التقليدي (١.٢ ثانية) مقارنة بالتكنيك المجوف (٠.٩٢ ثانية) وبفارق (٠.٢٨ ثانية) ولصالح التكنيك المجوف.

- تميز التكنيك المجوف بمتوسط نصف قطر دوران (٠.٩٠٦ م) اقل من التكنيك التقليدي (١.٠٢٦م) وبفارق (٠.١٢ م).
- هناك فروق واضحة في متوسط السرعة الزاوية حيث بلغت (٢٩١.٦٦°/ث) للتكنيك المجوف و(٢٢٠.٧°/ث) للتكنيك التقليدي.
- بلغت السرعة الزاوية في التكنيك التقليدي (٢٣٧.٣°/ث) في نهاية الأداء قبل لحظة التحرر، بينما حقق التكنيك المجوف في نهاية الأداء سرعة زاوية اعلي (٣٥٦.٨°/ث).
- لم يكن الفرق كبيرا في متوسط كمية الحركة الدورانية بين التكنيك المجوف (٢٣٦.٥٦ نيوتن.م.ث) والتكنيك التقليدي (٢٢٨.٣١ نيوتن.م.ث) وهي النتائج التي تؤكد علي ان اسباب استخدام اللاعبين ذوي المستويات العليا للتكنيك المجوف ترجع لأسباب اخري غير كمية الحركة الدورانية.
- الفروق الجوهرية في أوضاع الجسم التي يتخذها اللاعب تتضح بشكل أساسي في بداية الربع الأول من الأداء بزوايا مفاصل الفخذ (١٦٩.٣°) وزاوية كتف (١٧٠.٣°) للتكنيك التقليدي مقارنة بالتكنيك المجوف (٨٨.٣°) و(١١٧.٣°)، كما يختلف الأداء في الربع الثاني بوجود مد زائد كبير في مفصلي الفخذ للتكنيك المجوف (-١٤٢.٩°) مقارنة بالتكنيك التقليدي (-١٥٩.٨°).
- تظهر بداية ركلة الصعود للتكنيك المجوف في الربع الثاني ومتقدمة عن ركلة الصعود في التكنيك التقليدي والتي تبدأ في الربع الثالث من الأداء.
- يحدث التغير في نصف قطر الدوران بمقدار أكبر وبمعدل أسرع في التكنيك المجوف عن التكنيك التقليدي.
- هناك تفوق واضح في تحقيق سرعة مماسيه عالية قبل لحظة التحرر للتكنيك المجوف (٤.٤٤ متر/ث) مقارنة بالتقليدي (٣.٧٠ متر/ث) وهو أيضا أحد اسباب استخدام اللاعبين للتكنيك المجوف في نهاية الجمل الحركية لتوفير الارتفاع المناسب لإنجاز الواجب الحركي.
- حدوث عملية تخزين واسترجاع الطاقة الميكانيكية مرتين متتالين في التكنيك المجوف بعكس التكنيك التقليدي الذي يتم فيه تبادل الطاقة مرة واحدة فقط.
- إن التحكم في إيقاع أداء القبض والمد في مفصلي الفخذين والكتفين واختيار التوقيت المناسب لتخزين الطاقة في عارضة العقلة وإعادة استغلالها أتاح الفرصة للاعب لأداء نهاية جملة حركية عالية الصعوبة وتميزت بارتفاع إضافي نتيجة لما اكتسبه الجسم من طاقة حركية عالية نتيجة تحرر الطاقة المخزونة في عارضة العقلة دعمت السرعة الزاوية والسرعة المماسيه لحظة التحرر وبالتالي تحقيق زمن طيران أكبر.

المراجع

Arampatzis, A., & Brüggemann, G.-P. (١٩٩٩). Mechanical energetic processes during the giant swing exercise before dismounts and flight elements on the high bar and the uneven parallel bars. Journal of Biomechanics, ٣٢(٨), ٨١١-٨٢٠. doi: ١٠.١٠١٦/S٠٠٢١-٩٢٩٠(٩٩)٠٠٠٦٥-٢

Brewin, M. A., and Kerwin, D. G. (٢٠٠٣). Accuracy of Scaling and DLT Reconstruction Techniques for Planar Motion Analyses. Journal of Applied Biomechanics, ١٩, ٧٩-٨٨.

Georgia State University - Department of Physics & Astronomy. (٢٠١٣). Hyperphysics - Gravitational Potential Energy. Retrieved August ١٨, ٢٠١٨, from http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/gpot.html

Livingston, J. D. (٢٠١١). Rising Force: The Magic of Magnetic Levitation. President and Fellows of Harvard College.

Prassas, S., Kwon, Y., & Sands, W. A. (٢٠٠٦). Biomechanical research in artistic gymnastics: a review. Sports Biomechanics, ٥(٢), ٢٦١-٢٩١. https://doi.org/١٠.١٠٨٠/١٤٧٦٣١٤٠٦٠٨٥٢٢٨٧٨

Heinen, T., Velentzas, K., & Vinken, P. M. (٢٠١٢). Functional relationships between gaze behavior and movement kinematics when performing high bar dismounts – an exploratory study. ١٣(٣), ٢١٨. doi: https://doi.org/١٠.٢٤٧٨/v١٠٠٣٨-٠١٢-٠٠٢٥-٢

Hiley, M. J., & Yeadon, M. R. (٢٠٠١). Swinging around the high bar. Physics Education, ٣٦(١), ١٤.

Hiley, M. J., & Yeadon, M. R. (٢٠٠٣). The margin for error when releasing the high bar for dismounts. Journal of Biomechanics, ٣٦(٣), ٣١٣-٣١٩. doi: ١٠.١٠١٦/S٠٠٢١-٩٢٩٠(٠٢)٠٠٤٣١-١

Hiley, M. J., & Yeadon, M. R. (٢٠٠٧). Optimization of Backward Giant Circle Technique on the Asymmetric Bars. Journal of Applied Biomechanics, ٢٣(٤), ٣٠٠-٣٠٨. doi: ١٠.١١٢٣/jab.٢٣.٤.٣٠٠

Kerwin, D. (١٩٩٩). Swinging in gymnastics. Paper presented at the Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports, Perth.

Knudson, D. (٢٠٠٧). Introduction to Biomechanics of Human Movement Fundamentals of Biomechanics (٢ ed.). Boston, MA: Springer.

Kwon, Y.-H., and Fiaud, V. (٢٠٠٢). Experimental issues in data acquisition in sport biomechanics: camera calibration. In K. E. Gianikellis (ed.). Paper presented at the the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports, Applied Session in Data Acquisition and Processing, Cáceres.

Livingston, J. D. (٢٠١١). Rising Force: The Magic of Magnetic Levitation. President and Fellows of Harvard College.

Prassas, S., Kwon, Y. H., & Sands, W. A. (٢٠٠٦). Biomechanical research in artistic

gymnastics: a review. Sports Biomechanics, ٥(٢), ٢٦١-٢٩١. doi: ١٠.١٠٨٠/١٤٧٦٣١٤٠٦٠٨٥٢٢٨٧٨

Sevrez, V., Berton, E., Rao, G., & Bootsma, R. J. (٢٠٠٩). Regulation of pendulum length as a control mechanism in performing the backward giant circle in gymnastics. Human Movement Science, ٢٨(٢), ٢٥٠-٢٦٢. doi: https://doi.org/١٠.١٠١٦/j.humov.٢٠٠٨.١٠.٠٠٢

Stilling, D. S. D., & Szyszkowski, W. (٢٠٠٢). Controlling angular oscillations through mass reconfiguration: a variable length pendulum case. International Journal of Non-Linear Mechanics, ٣٧(١), ٨٩-٩٩. doi: https://doi.org/١٠.١٠١٦/S٠٠٢٠-٧٤٦٢(٠٠)٠٠٠٩٩-٨

Xin, X., & Liu, Y. (٢٠١٤). Trajectory tracking control of variable length pendulum by partial energy shaping. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, ١٩(٥), ١٥٤٤-١٥٥٦. doi: https://doi.org/١٠.١٠١٦/j.cnsns.٢٠١٣.٠٩.٠١١