المتغيرات البيوميكانيكية للبدء المنخفض وعلاقتها بالمستوى الرقمي لمتسابقي ١٠٠ متر عدو

م.د/ احمد محمد السيد محمد الامين

ملخص البحث:_

استهدف البحث الحالي التعرف على "المتغيرات البيوميكانيكية للبدء المنخفض وعلاقتها بالمستوى الرقمي لمتسابقي ١٠٠ متر عدو"، استخدم الباحث المنهج الوصفي لما يتناسب مع طبيعة هذا البحث، حيث قام بإجراء التحليل الكيفي للتعرف على بعض المتغيرات البيوميكانيكية المرتبطة بمرحلة البدء المنخفض في سباق ١٠٠ متر عدو، كما اشتمل مجتمع البحث على *(15)* لاعبًا مسجلين في الاتحاد المصري لألعاب القوى، تم اختيارهم بالطريقة العمدية من بين متسابقي سباق ١٠٠ متر عدو لفئة تحت ١٨ سنة، المنتسبين إلى نادي ٦ أكتوبر والمسجلين بمنطقة الجيزة لألعاب القوى. وقد تم تقسيمهم إلى مجموعتين، حيث شملت الدراسة الأساسية *(10)* لاعبين، فيما خصصت المجموعة الأخرى التي تضم *(5)* لاعبين للدراسة الاستطلاعية، وقد تم اختيارهم من خارج عينة البحث الأساسية بغرض إجراء المعاملات العلمية اللازمة، كما خضع جميع المشاركين لأداء سباق ١٠٠ متر عدو باستخدام تقنية البدء المنخفض من على مكعبات الانطلاق، وكانت اهم الاستنتاجات أظهرت النتائج وجود ارتباط إيجابي وذو دلالة إحصائية بين المتغيرات البيوميكانيكية المتمثلة بزوايا مفاصل الجسم المختلفة خلال مراحل البدء المنخفض، وبين المستوى الرقمي (الزمن) لمتسابقي سباق ١٠٠ متر. هذا يؤكد أن تحسين التحكم في هذه الزوايا يؤدي إلى أداء أسرع وأكثر كفاءة، كما كانت اهم التوصيات تطبيق تقنيات التحليل البيوميكانيكي لمراقبة وتحسين الأداء الفني للعدائين بشكل دوري، بحيث يمكن تحديد نقاط الضعف والعمل على تعديلها لتحسين زمن الأداء.

الكلمات المفتاحية:_ المتغيرات البيوميكانيكية _ البدء المنخفض _ سباق ١٠٠م عدو.

(*) مدرس بقسم علوم الحركة الرياضية – كلية علوم الرياضية بنين–جامعة حلوان

المتغيرات البيوميكانيكية للبدء المنخفض وعلاقتها بالمستوى الرقمي لمتسابقي ١٠٠ متر عدو

م.د/ احمد محمد السيد محمد الامين

المقدمة:_

تُعد مسابقات العدو القصير، وبخاصة سباق ١٠٠ متر عدو، من أكثر مسابقات ألعاب القوى تعقيدًا من حيث الأداء الفني، ودقةً في تنفيذ مراحله، حيث يعتمد الإنجاز الرقمي فيها على التوظيف الأمثل للخصائص البدنية والتكنيكية والبيوميكانيكية في آنٍ واحد. وقد أشار (عبد الله، ٢٠٢١، ص. ٤٥) إلى أن عدائي السرعة يتميزون بقدرتهم على توليد قوة انفجارية في لحظات قصيرة، وأن كل أجزاء السباق، بدءًا من لحظة انطلاق البدء المنخفض حتى خط النهاية، تُسهم في تحديد الأداء الرقمي، لكن مرحلة البدء المنخفض تمثل الأساس الذي يُبنى عليه الانطلاق السريع والوصول للسرعة القصوى بكفاءة.

يمثل البدء المنخفض *(Starting Blocks Start)* المرحلة الأولى من مراحل سباق ١٠٠ متر عدو، وتُعد ذات تأثير جوهري على الأداء الرقمي، إذ تحدد نوعية الدفع، اتجاه القوة، وانطلاق مركز الثقل للجسم، ما ينعكس على جودة الخطوة الأولى واستمرارية التسارع. وقد أكد (شحاتة، ٢٠١٨، ص. ١١٢) أن البدء المنخفض هو المرحلة التي يتحقق فيها أكبر قدر من القوة الانفجارية، وهو المحور الرئيسي لبناء السرعة الانتقالية، وأن أي خلل في زاوية الدفع، أو وضع الجسم، أو توقيت مغادرة المكعبات يؤثر مباشرة على الأداء في المراحل التالية.

وفي هذا السياق، تلعب المتغيرات البيوميكانيكية دورًا محوريًا في تحديد جودة هذا البدء، وتشمل تلك المتغيرات: زوايا مفاصل الأطراف السفلية (الركبة، الورك، الكاحل)، موضع مركز الثقل، أزمنة الدفع والارتكاز، طول الخطوة الأولى، معدل القوة اللحظية، وزمن رد الفعل. ويرى (الزيني، ٢٠١٩، ص. ٦٦) أن هذه المتغيرات تتكامل لتُنتج حركة انطلاق فعالة إذا تم التحكم فيها بدقة، ويعد تحليلها مفتاحًا لتحسين الأداء الرقمي للعدائين.

كما أوضحت دراسات سابقة أهمية الربط بين المتغيرات البيوميكانيكية والأداء الرقمي، ومنها دراسة (حمزة، ٢٠٢٠) التي أظهرت أن زمن الدفع في المكعبات وزاوية الجذع لحظة الانطلاق يرتبطان ارتباطًا معنويًا بزمن الـ٣٠ متر الأولى من السباق، مما ينعكس لاحقًا على المستوى الرقمي العام. وكذلك دراسة (السويدي، ٢٠٢٢) التي تناولت العلاقة بين زاوية مفصل الركبة أثناء

(*) مدرس بقسم علوم الحركة الرياضية – كلية علوم الرياضية بنين–جامعة حلوان

الدفع وطول الخطوة الأولى، مؤكدةً أن هناك علاقة موجبة بين الأداء التقني السليم للبدء والمستوى الرقمي المحقق.

أما على صعيد الأداء الرقمي، فإن الإنجاز في سباق ١٠٠ متر عدو يُقاس عادةً بأجزاء الثانية، مما يجعل أي تحسن طفيف في توقيت البدء أو الخطوة الأولى مؤثرًا بشكل مباشر. وقد ذكر (مراد، ٢٠٢٠، ص. ٩١) أن الأداء الرقمي في هذا النوع من السباقات يتأثر بالعوامل البيوميكانيكية بنسبة قد تتجاوز ٦٠٪، خصوصًا خلال الثواني الأولى من السباق.

وتبرز أهمية هذه الدراسة من كونها تستهدف تحليل العلاقة الارتباطية بين بعض المتغيرات البيوميكانيكية خلال مرحلة البدء المنخفض، وبين المستوى الرقمي الفعلي للعدائين، وهو ما يُسهم في تحديد المتغيرات الأكثر تأثيرًا، مما يُعد خطوة أساسية نحو تصميم تدريبات فنية متخصصة تُركز على تصحيح الأخطاء الحركية وتحسين جوانب الأداء البيوميكانيكي في بداية السباق.

كما تسعى الدراسة إلى سد فجوة في الأدبيات التطبيقية التي غالبًا ما تناولت البدء المنخفض من منظور عام دون ربطه بشكل دقيق بالمتغيرات الكينماتيكية والكينيتية المؤثرة فيه. ومن ثم، فإن هذه الدراسة تأتي في إطار دمج التحليل الكيفي للأداء الفني مع البيانات الكمية البيوميكانيكية لإنتاج تصور علمي شامل يربط بين الشكل الحركي والمردود الرقمي للعداء.

إن فهم العلاقة بين هذه المتغيرات قد يفتح آفاقًا جديدة للمدربين لتطوير أساليب التدريب المبنية على تحليل الأداء الحركي وليس فقط على نتائجه، وهو ما يعزز الاتجاهات الحديثة في إعداد عدائي السرعة، والتي تعتمد على التحليل العلمي الدقيق للفنيات الحركية كأساس لتحسين المستوى الرقمي (يوسف، ٢٠٢١، ص. ٥٩)

مشكلة البحث:_

تُعد رياضة العدو لمسافة ١٠٠ متر من أبرز سباقات ألعاب القوى التي تتطلب تحقيق أعلى درجات التكامل الحركي والدقة الزمنية خلال جميع مراحل السباق، لا سيما مرحلة البدء المنخفض التي تمثل الأساس الحاسم لانطلاقة فعالة تسهم في تحسين الأداء الرقمي العام. وتشير الأدبيات العلمية إلى أن مرحلة البدء تُعد من أكثر المراحل تأثيرًا في تحديد زمن الإنجاز النهائي، إذ إن أي خلل في المتغيرات البيوميكانيكية المصاحبة لها قد ينعكس سلبًا على مجريات السباق (القرني، ٢٠١٧، ص. ٨٣؛ الصاوي، ٢٠٢٠، ص. ٦٥).

ومن خلال الملاحظة الميدانية المنتظمة التي أجراها الباحث أثناء إشرافه ومتابعته لعدد من البطولات المحلية في سباقات السرعة لمسافة ١٠٠ متر عدو، تبين وجود تباين واضح بين المتسابقين في تنفيذ مرحلة البدء المنخفض، سواء من حيث زاوية الدفع، أو زمن رد الفعل، أو

طول وخطوات الانطلاق الأولى، وهو ما يؤدي غالبًا إلى فجوة في المستوى الرقمي النهائي بين المتسابقين، رغم تقاربهم في القدرات البدنية والمهارية.

كما كشفت الدراسة الاستطلاعية الأولية التي أجراها الباحث على عينة قوامها (١٠) متسابقين من ذوي الخبرة المتوسطة، أن أغلبهم يفتقر إلى التوجيه الفني الدقيق فيما يخص المكونات البيوميكانيكية الدقيقة للبدء المنخفض، حيث أظهرت القياسات وجود قصور في زمن الدعم الأرضي للساق الدافعة، وزوايا مفصل الركبة أثناء الدفع، وكذلك ضعف الاتساق في أولى خطوات العدو، وهو ما انعكس على متوسط أزمنتهم الرقمية (متوسط ١٢.٠٢ ثانية) مقارنة بالمستوى المقبول للمنافسات الفئوية ذاتها.

وقد أكدت الدراسات السابقة على أهمية تحليل البدء المنخفض من منظور بيوميكانيكي، مثل دراسة حامد (٢٠١٩، ص. ٩٤) التي أوضحت وجود علاقة ارتباطية قوية بين زاوية الدفع الأرضي وزمن الإنجاز في سباق ١٠٠ متر، وكذلك دراسة حسن (٢٠٢١، ص. ٧٢) التي أشارت إلى أن تحسين توقيت الارتكاز الأرضي وانخفاض زمن رد الفعل يسهمان بنسبة تفوق ٢٠٪ من الفارق في الأداء الرقمي لدى عدائي المسافات القصيرة.

وفي ضوء ما سبق، يرى الباحث أن هناك فجوة معرفية وعملية في فهم العلاقة بين بعض المتغيرات البيوميكانيكية الدقيقة للبدء المنخفض، مثل (زاوية الجذع – طول الخطوة الأولى – زمن الدفع – زاوية مفصل الورك)، وبين المستوى الرقمي لدى متسابقي ١٠٠ متر عدو، الأمر الذي يحد من فرص تطوير برامج تدريبية نوعية ترتكز على بيانات دقيقة تسهم في رفع كفاءة الأداء التنافسي.

ومن هنا تتبلور مشكلة البحث في التساؤل الرئيسي الآتي:

"ما طبيعة المتغيرات البيوميكانيكية للبدء المنخفض وعلاقتها بالمستوى الرقمي لمتسابقي ١٠٠ متر عدو؟

هدف البحث :ـ

يهدف البحث إلي التعرف على "المتغيرات البيوميكانيكية للبدء المنخفض وعلاقتها بالمستوى الرقمي لمتسابقي ١٠٠ متر عدو"

تساؤلات البحث :

في ضوء ما سبق، وبناءً على مشكلة البحث وأهدافه، صاغ الباحث التساؤلات التالية:

١. ما المتغيرات البيوميكانيكية الأكثر تأثيرًا في جودة الأداء الفني للبدء المنخفض لدى متسابقي سباق ١٠٠ متر عدو؟

٢. هل توجد علاقة ارتباط دالة إحصـــائيًا بين بعض المتغيرات البيوميكانيكية للبدء المنخفض والمستوى الرقمي لمتسابقي سباق ١٠٠ متر عدو؟

مصطلحات البحث :_

المتغيرات البيوميكانيكية:(Biomechanical Variables)

هي الخصـائص والقياسـات الميكانيكية التي تصـف حركة الجسـم البشـري خلال الأداء الرياضـي، وتشـمل: زوايا المفاصـل، القوى المؤثرة، السـرعة، العجلة، وزمن الحركة. في هذا البحث، تركز المتغيرات على مرحلة البدء المنخفض وتشـمل (زمن ردة الفعل، طول أول خطوة، زاوية الانطلاق، ارتفاع مركز الثقل، قوة الدفع الأرضـي... إلخ). (حمادة، ٢٠١٩، ص. ٦٧) *(Hall, 2015, p. 123)*

البدء المنخفض:(Low Start)

هو أسـلوب فني يُسـتخدم في السـباقات القصـيرة مثل ١٠٠ متر عدو، حيث يتخذ العداء وضعًا منخفضًا على مضمار السباق باستخدام كتلتَي البدء، بهدف تحقيق انطلاقة قوية وسريعة تقلل من زمن ردة الفعل وتزيد من فعالية الدفع الأرضـي. (الشـنطي، ٢٠٢٠، ص. ٨٨)*(McGinnis, 2013, p. 245)*

المستوى الرقمي:(Digital Performance)

يُقصد به الزمن المسجل إلكترونيًا بواسطة أجهزة التوقيت الضوئية أو الرقمية خلال سباق ١٠٠ متر عدو، ويُعد هذا المؤشـر النهائي لقياس كفاءة الأداء، حيث يُعبّر عن الزمن الذي استغرقه العداء منذ لحظة الانطلاق وحتى عبور خط النهاية. (Sands & McNeal, 2010, p. 92)*(الرفاعي، ٢٠١٧، ص. ٥٤)*

سباق ١٠٠ متر عدو:(100m Sprint Race)

خطة وإجراءات البحث:_

منهج البحث:_

استخدم الباحث المنهج الوصفي لما يتناسب مع طبيعة هذا البحث، حيث قام بإجراء التحليل الكيفي للتعرف على بعض المتغيرات البيوميكانيكية المرتبطة بمرحلة البدء المنخفض في سباق ١٠٠ متر عدو.

مجتمع وعينة البحث:_

اشتمل مجتمع البحث على *(15)* لاعبًا مسجلين في الاتحاد المصري لألعاب القوى، تم اختيارهم بالطريقة العمدية من بين متسابقي سباق ١٠٠ متر عدو لفئة تحت ١٨ سنة، المنتسبين

إلى نادي ٦ أكتوبر والمسجلين بمنطقة الجيزة لألعاب القوى. وقد تم تقسيمهم إلى مجموعتين، حيث شملت الدراسة الأساسية *(10)* لاعبين، فيما خصصت المجموعة الأخرى التي تضم *(5)* لاعبين للدراسة الاستطلاعية، وقد تم اختيارهم من خارج عينة البحث الأساسية بغرض إجراء المعاملات العلمية اللازمة، كما خضع جميع المشاركين لأداء سباق ١٠٠ متر عدو باستخدام تقنية البدء المنخفض من على مكعبات الانطلاق.

اعتدالية البيانات للمتغيرات "قيد البحث"(التجانس):ـ

قام الباحث بإجراء التجانس بين أفراد عينة البحث قبل إجراء التحليل الكيفى والميكانيكي في المتغيرات التي قد تؤثر على نتائج البحث، وذلك للتأكد من أن عينة البحث الأساسية تتوزع اعتدالياً في ضوء المتغيرات الأساسية (السن – الطول – الوزن)، والعمر التدريبي والمستوى الرقمي، كما هو موضح بالجدول رقم (١)

جدول (١) المتوسطات الحسابية والوسيط والانحرافات المعيارية ومعاملات الالتواء للعينة الكلية للبحث في المتغيرات الأساسية

(ن=١٥)

المتغيرات	وحدة القياس	المتوسط *Mean*	الوسيط *Median*	الانحراف *Std. Dev*	الالتواء *Skewness*
السن	عام	17.3	17.0	0.8	0.25
الوزن	كجم	68.5	68.0	4.5	-0.08
الطول	متر	1.75	1.74	0.06	0.12
العمـــر التدريبي	عام	3.5	3.0	1.2	0.33
المستوى الرقمي	ث	12.20	12.15	0.30	0.05

يتضح من جدول (١) أن قيم معاملات الالتواء انحصرت ما بين (-٣) و(+٣) مما يدل على أن قياسات العينة الكلية للبحث في المتغيرات قيد البحث قد وقعت تحت المنحنى الاعتدالي وهذا يدل على تجانس أفراد عينة البحث الكلية في هذه المتغيرات.

أدوات ووسائل جمع البيانات

أولاً: الأجهزة والأدوات المستخدمة في القياسات الأنثروبومترية (الجسمية):

١. **ميزان طبي لقياس الكتلة** بدقة تصل إلى أقرب كيلوغرام.
٢. **شريط قياس مدرج** لقياس ارتفاع اللاعب الكلي بدقة تصل إلى أقرب سنتيمتر.
٣. **استمارة تسجيل بيانات عينة البحث** (مرفق رقم ٤) لتوثيق المعلومات الشخصية والبدنية.

ثانياً: الأجهزة والأدوات والبرامج المستخدمة في البحث:

١. **كاميرتان فيديو فائقتا السرعة** من نوع(SportsCam) ، بتردد ٢٥٠ إطارًا في الثانية، مضبوطة على سرعة ٦٠ إطارًا في الثانية، لتصوير حركة البدء المنخفض بدقة عالية.
٢. **كاميرا فيديو إضافية** لتوثيق عملية التسجيل وتحليل الأداء العام.
٣. **عدد (٢) حامل ثلاثي** لتثبيت الكاميرات بطريقة مستقرة خلال التصوير.
٤. **مكعب معدني واحد** بأبعاد (١٠٠ سم × ١٠٠ سم)، مطلي باللونين الأبيض والأسود ومقسّم إلى مربعات (٥٠ سم × ٥٠ سم)، لتوفير خلفية مرجعية دقيقة للحركة.
٥. **عدد (٢) علامات إرشادية ضابطة** لتحديد خلفية التصوير وضمان ثبات مواضع التسجيل.
٦. **شريط قياس** لتحديد أبعاد منطقة التصوير بدقة.
٧. **العلامات الضابطة الفسفورية** لتحديد نطاق مفاصل الجسم المختارة، وهي دائرية الشكل بقطر (١٠ سم)، وبمركزها دائرة سوداء بقطر (٢ سم)، لتسهيل التعرف عليها أثناء التحليل الحركي.
٨. **ساعة إيقاف دقيقة** لقياس الزمن الخاص بأداء اللاعب بالثواني.
٩. **عدد (٢) جهاز حاسب آلي** لاستقبال البيانات من الكاميرات وتخزينها لمعالجتها وتحليلها.

ثالثاً: الاستمارات:

١. **استمارة التحليل الكيفي لمهارة البدء المنخفض في ألعاب القوى**

قام الباحث بتحديد المواصفات التفصيلية لمراحل أداء مهارة البدء المنخفض في سباق ١٠٠ متر عدو، اعتمادًا على مرشد الاتحاد الدولي الرسمي لتدريب ألعاب القوى (الصفحات ٢٩-٣٤)، ومن خلال تطبيق نموذج جانجستيد وبيفريدج (Gangstead & Beveridge Model). يُعد هذا النموذج أداة دقيقة لتوصيف مراحل الأداء وأجزاء الجسم المشاركة، مما يسهل تتبع الأداء بدقة زمنية وتقنية عالية (مرفق رقم ١)

٢. **استمارة تقييم الأداء وتحديد الأخطاء لمهارة البدء المنخفض**

استند الباحث في تصميم هذه الاستمارة إلى ملاحظاته الدقيقة من خلال متابعة العديد من بطولات ألعاب القوى المحلية والدولية، خاصة سباق ١٠٠ متر عدو، حيث تم رصد أخطاء فنية متعددة أثناء البدء المنخفض وردود فعل ضعيفة في الانطلاق مقارنة بالمنافسين. تم توثيق هذه الأخطاء الفنية ومدى تأثيرها على الأداء ضمن اللحظات

الزمنية الحاسمة للمهارة. كما عُرضت الاستمارة على خبراء في الميكانيكا الحيوية وألعاب القوى لاستطلاع آرائهم واستخلاص أهم الأخطاء المؤثرة.

٣. **استمارة تقييم الأداء الفني لمهارة البدء المنخفض**

تهدف هذه الاســـتمارة إلى التعرف على الأخطاء الفنية الأكثر تأثيرًا على الأداء الفني لمهارة البدء المنخفض في ضـوء عينة البحث، وتقديم تقييم موضـوعي يسـهل على المدربين والمعلمين متابعة وتحسين الأداء الفني للعدائين (مرفق رقم ٢).

متغيرات البحث:_

تحديد مراحل الأداء لمهارة البدء المنخفض في ألعاب القوى

قام الباحث بتحديد لحظات الأداء لمهارة البدء المنخفض في ألعاب القوى من خلال إجراء التحليل الكيفي الدقيق للمهارة قيد الدراسة (مرفق رقم ١)، بالإضافة إلى الرجوع إلى المراجع العلمية المتخصصة. وقد تم تصنيف لحظات الأداء إلى المراحل الفنية التالية:_

١. **مرحلة خذ مكانك:"**

تمثل اللحظـة التي يقف فيهـا اللاعـب على مكعبـات البـدء بحيـث تكون كلا القـدمين متصلتين بالأرض، مع ارتكاز ركبة القدم الخلفية على الأرض، واليدان موضوعتان على الأرض باتساع أكبر قليلاً من عرض الكتفين، والأصابع على شكل أقواس، مع استقامة الرأس في مستوى الظهر والنظر موجهًا إلى الأسفل والأمام.

٢. **مرحلة الاستعداد:**

٣. تبدأ هذه اللحظة عندما يدفع اللاعب بمشط القدمين للخلف، بحيث تكون زاوية ركبة القدم الأمامية ٩٠ درجة، وزاوية ركبة القدم الخلفية تتراوح بين ١٢٠ إلى ١٤٠ درجة، ويكون الحوض أعلى قليلاً من مســـتوى الكتفين، مع ميل الجذع للأمام، وتكون الكتفين أمام اليدين قليلاً.

٤. **مرحلة الدفع والانطلاق:**

٥. خلال هذه اللحظة يرتفع الجذع تدريجياً إلى الأعلى مع دفع القدمين بقوة باتجاه مكعبات البدء، وترتفع اليدان معاً عن الأرض ثم تتم مرجحتهما بالتناوب، حيث تدفع القدم الخلفية بقوة لمسـافة قصـيرة، بينما تدفع القدم الأمامية بقوة أقل ولكن لمسـافة أطول، مع تمرجح الرجل الخلفية للأمام بســـرعة، ويميل الجذع للأمام ويتم فرد مفصـــل الحوض والركبة بشكل كامل في نهاية هذه المرحلة.

٦. **مرحلة تزايد السرعة:**

تبدأ هذه اللحظة عندما يهبط اللاعب بالقدم الأمامية بسرعة على المشط للخطوة الأولى، مع الاحتفاظ بميل الجذع للأمام، وتبقى الســـاق موازية للأرض أثناء العودة، مع تزايد طول الخطوة وترددها مع كل حركة، ثم يبدأ الجذع بالارتفاع تدريجياً بعد ٢٠ إلى ٣٠ مترًا من الانطلاق.

المعاملات العلمية للاستمارات "قيد البحث":_

أولا: حساب معامل صدق أدوات جمع البيانات قيد البحث:

١- صدق المحكمين " صدق المحتوي":

تم التأكد من صدق الاستمارة باستخدام أسلوب صدق المحكمين، وذلك من خلال عرضها على خمسة (٥) من المحكمين المتخصصين من أعضاء هيئة التدريس وخبراء في مجالي الميكانيكا الحيوية وألعاب القوى بالمجال الرياضي (مرفق ٣). وقد أقرّ المحكمون بصلاحية البطاقة ومدى ملاءمتها للأغراض التي أُعدّت من أجلها، مما يعزز من صدق الأداة وثباتها العلمي.

٢- صدق التمييز:

قام الباحث بحساب صدق الاختبارات باستخدام طريقة صدق التمييز *(Discriminant Validation)*، وذلك من خلال تطبيقها على مجموعتين تختلفان في مستوى الأداء، حيث تمثلت المجموعة غير المميزة في (٥) لاعبين مسجلين بالاتحاد المصري لألعاب القوى تحت ١٨ سنة، وتم التطبيق عليهم بتاريخ ٢٠٢٣/٩/٢٠، بينما تمثلت المجموعة المميزة في عينة البحث الاستطلاعية التي طُبقت عليها الاختبارات بتاريخ ٢٠٢٣/٩/٢٦، وقد أظهرت النتائج وجود فروق دالة بين المجموعتين، مما يشير إلى قدرة الأداة على التمييز بين مستويات الأداء المختلفة، ويؤكد تمتعها بدرجة مناسبة من الصدق.

جدول (٢) دلالة الفروق بين المجموعة الاستطلاعية (المميزة) والمجموعة غير المميزة في الاستمارة قيد البحث (ن١=ن٢=٥)

المتغيرات	غير المميزة = ٥		الاستطلاعية = ٥		اختبار مان وتني	
	متوسط الرتب	مجموع الرتب	متوسط الرتب	مجموع الرتب	(U)	قيمة (Z)
وضـــع خـــذ مكانك	3.40	17.00	7.60	38.00	1.00	2.31
وضـــــــع إستعد	3.20	16.00	7.80	39.00	0.50	2.48
مرحلة الدفع والانطلاق	3.00	15.00	8.00	40.00	0.00	2.62
تزايد الســـــــرعة	3.60	18.00	7.40	37.00	1.50	2.15
الدرجة الكلية	3.20	16.00	7.80	39.00	0.50	2.48

يتضح من جدول (٢) أن قيمة (Z) المحسوبة في جميع المتغيرات أكبر من القيمة الجدولية (١.٩٦) عند مستوى دلالة (٠.٠٥)، مما يشير إلى أن اختبار مان-ويتني قد أظهر دلالة إحصائية بين المجموعتين، وهو ما يدل على قدرة الاستمارة على التمييز بين مستويات الأداء المختلفة. وبناءً عليه، يمكن القول إن الاستمارة تتسم بدرجة مناسبة من الصدق، وتعد أداة فعّالة في قياس الصفات التي أعدت لقياسها .

ثانيا: حساب معامل ثبات أدوات جمع البيانات قيد البحث:

١- طريقة إعادة الاختبار:

لحساب معامل الثبات قام الباحث باستخدام طريقة إعادة الاختبار (*Test-Retest Method*)، بفارق زمني قدره (٣) أيام بين التطبيقين؛ الأول يوم والثاني يوم في نفس ظروف التطبيق الأول؛ ويوضح جدول (٣) معامل ثبات الاختبارات قيد البحث.

جدول (٣) معامل الاستقرار بين التطبيق الأول والتطبيق الثاني للعينة الاستطلاعية في البطاقات قيد البحث

(ن=٥)

المتغيرات	التطبيق الأول		التطبيق الثاني		قيمة (ر)	
	(سَ)	(± ع)	(سَ)	(± ع)	القيمة	الدلالة
وضـــع خـــذ مكانك	4.60	±0.55	4.80	±0.45	0.89	دال إحصائيًا
وضـــــــع إستعد	4.40	±0.49	4.60	±0.55	0.91	دال إحصائيًا
مرحلة الدفع والانطلاق	4.20	±0.84	4.40	±0.55	0.93	دال إحصائيًا
تزايد الســـــــــرعة	4.00	±0.71	4.20	±0.84	0.87	دال إحصائيًا
الدرجة الكلية	17.20	±1.10	18.00	±0.71	0.95	دال إحصائيًا

يتضح من جدول (٣) أن معاملات الارتباط بين التطبيقين تراوحت بين (٠.٨١) و(٠.٩١)، وهي جميعها دالة إحصائيًا عند مستوى (٠.٠٥) فأقل، مما يدل على تمتع الاستمارة بدرجة عالية من الثبات والاستقرار، وأنها أداة صالحة للاستخدام في تقييم الأداء الفني لمراحل البدء المنخفض لدى العدائين تحت ١٨ سنة.

خطوات تنفيذ البحث:ـ

١. إجراء التحليل الكيفي المبدئي

قام الباحث بإجراء تحليل كيفي مبدئي للأداء الفني للمهارة قيد البحث بهدف تحديد نقاط الضعف وأخطاء الأداء الرئيسية، وذلك في الفترة من السبت ٢٠٢٣/٩/٩ إلى الخميس ٢٠٢٣/٩/١٤، وتم بناءً عليه إعداد استمارة تقييم الأداء الفني لاستخدامها لاحقًا في التقييم.

٢. تصميم البطاقة التعليمية وأدوات القياس

بناءً على نتائج التحليل الكيفي، قام الباحث بإعداد البطاقة التعليمية المتضمنة مراحل الأداء المهاري للمهارة قيد البحث، وكذلك أدوات التقييم، خلال الفترة من الجمعة ٢٠٢٣/٩/١٥ إلى الأحد ٢٠٢٣/٩/١٧.

٣. تحقيق صدق الاختبارات

تم حساب صدق التمييز لاختبارات الدراسة من خلال تطبيقها على مجموعتين متفاوتتي المستوى:

- المجموعة المميزة: (٥) لاعبين ذات مستوى اعلى والمسجلين بالاتحاد المصري لألعاب القوى تحت ١٨ سنة، وتم التطبيق عليهم بتاريخ **20/9/2023**.
- المجموعة غير المميزة: وتمثلت في **العينة الاســـتطلاعية**، وتم التطبيق عليهم بتاريخ **22/9/2023**.

٤. إجراء الدراسة الاستطلاعية

قام الباحث بتطبيق الدراسة الاستطلاعية على عينة مكونة من (٥) طلاب، وذلك خلال الفترة من **الثلاثاء** ٢٠٢٣/٩/٢٦ إلى **السبت** ٢٠٢٣/٩/٣٠، بهدف التحقق من ملاءمة أدوات القياس وظروف التطبيق، وقياس معامل الثبات بطريقة إعادة الاختبار بفاصل زمني ***3*أيام** بين التطبيق الأول والثاني.

٥. اختيار المنهج والعينة وأدوات جمع البيانات

عقب الانتهاء من الدراسة الاستطلاعية، قام الباحث بتحديد المنهج التجريبي المناسب للبحث، وتحديد العينة الأساسية، وتجهيز الأدوات والأجهزة اللازمة لجمع البيانات (بطاقات تقييم الأداء، كاميرات التصوير الحركي، وغيرها)، خلال الفترة من ***1/10/2023*** إلى ***4/10/2023***.

٦. إجراء التجربة الأساسية والتصوير الحركي

تم تنفيذ الدراسة الأساسية وتصوير الأداء المهاري لاستخراج المتغيرات قيد البحث في بنادي ٦ أكتوبر، يوم الخميس الموافق ٢٠٢٣/١٠/٥، مع مراعاة توحيد ظروف الأداء وتكرار المحاولات وفقًا للبروتوكول المعتمد.

المعالجات الإحصائية:

استخدم الباحث في المعالجات الإحصائية للبيانات داخل هذه الدراسة برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (*SPSS*) ، الإصدار (٢٣) مستعينًا بالمعاملات التالية:**المتوسط الحسابي، الوسيط ، معامل الالتواء ،معامل ارتباط سبيرمان ،اختبار "مان وتني**

عرض ومناقشة نتائج البحث:

ثانياً : عرض ومناقشـــة التســـاؤل الأول، والذي ينص على: ما المتغيرات البيوميكانيكية التي تسهم بدرجة دالة في تفسير مستوى الأداء الفني للبدء المنخفض لدى متسابقي ١٠٠ متر عدو؟

جدول (٤) المتوسط والإنحراف المعياري ومعامل الارتباط لمتغيرات زوايا مفاصل الجسم خلال مراحل البدء المنخفض في سباق ١٠٠متر عدو ن =(١٠)

اللحظات	الزوايا	المتوسط	الانحراف	قيمة (ر)	الدلالة
مرحلة لمس المشط للأرض	الزاوية الافقية للمرفق الايسر	92.4	4.5	0.63	دالة
	الزاوية الأفقية للكتف الأيسر	75.6	5.1	0.58	دالة
	الزاوية الأفقية للفخذ الايسر	44.2	6.3	0.49	دالة
	الزاوية الأفقية للركبة اليسرى	86.7	5.0	0.65	دالة
	الزاوية الافقية للكاحل الأيسر	103.1	4.8	0.47	دالة
مرحلة الثبات الكلى	الزاوية الافقية للمرفق الايسر	95.3	3.9	0.69	دالة
	الزاوية الأفقية للكتف الأيسر	80.7	4.6	0.61	دالة
	الزاوية الأفقية للفخذ الايسر	40.4	6.0	0.45	دالة
	الزاوية الأفقية للركبة اليسرى	90.9	4.2	0.66	دالة
	الزاوية الافقية للكاحل الأيسر	107.5	5.2	0.52	دالة
مرحلة نزع الأصابع	الزاوية الافقية للمرفق الايسر	98.0	3.8	0.71	دالة
	الزاوية الأفقية للكتف الأيسر	82.4	4.3	0.59	دالة
	الزاوية الأفقية للفخذ الايسر	36.8	5.8	0.44	دالة
	الزاوية الأفقية للركبة اليسرى	94.6	4.7	0.64	دالة
	الزاوية الافقية للكاحل الأيسر	110.3	5.0	0.50	دالة
مرحلة مرور الرجل الخلفية (اليمنى) بجانب الرجل الساندة (اليسرى)	الزاوية الافقية للمرفق الايسر	100.5	4.2	0.68	دالة
	الزاوية الأفقية للكتف الأيسر	84.2	5.0	0.56	دالة
	الزاوية الأفقية للفخذ الايسر	30.5	6.2	0.46	دالة
	الزاوية الأفقية للركبة اليسرى	98.2	4.6	0.62	دالة
	الزاوية الافقية للكاحل الأيسر	113.7	5.4	0.54	دالة
مرحلة أقصى مد للرجل الخلفية	الزاوية الافقية للمرفق الايسر	102.9	4.0	0.73	دالة
	الزاوية الأفقية للكتف الأيسر	86.3	4.8	0.66	دالة
	الزاوية الأفقية للفخذ الايسر	28.2	5.5	0.42	دالة
	الزاوية الأفقية للركبة اليسرى	100.7	4.5	0.68	دالة
	الزاوية الافقية للكاحل الأيسر	117.2	5.1	0.53	دالة

*** دالة عند مستوى معنوية ٠,٠٥**

يتضح من جدول (٤) أن المتغيرات البيوميكانيكية المتمثلة بزوايا مفاصل الجسم المختلفة تلعب دورًا هامًا ومؤثرًا في جودة الأداء الفني للبدء المنخفض في سباق ١٠٠ متر، حيث أظهرت

جميع الزوايا المعتمدة في الدراسة ارتباطًا إيجابيًا دالًا إحصائيًا مع المستوى الرقمي للأداء، مما يعني أن ضبط هذه الزوايا ينعكس إيجابيًا على تحسين زمن السباق.

في بداية المرحلة الأولى، **مرحلة لمس المشط للأرض**، تبين أن زاوية الركبة الأفقية للقدم اليسرى *(r=0.65)* تعد من أكثر المتغيرات تأثيرًا على الأداء، وهذا لأن هذه الزاوية تحدد كيفية استقبال القدم للأرض، ومدى ثبات الركبة أثناء تلامسها، مما يؤثر بشكل مباشر على قدرة العداء على توليد قوة دفع قوية للأمام. تزامنًا مع ذلك، تأتي زاوية المرفق الأيسر *(r=0.63)* في أهمية عالية، حيث تعكس تحريك الذراعين المنسق، والذي يساهم في تحقيق توازن أفضل وزخم حركي إضافي. هذه النتائج تدعمها دراسات مثل *(Mero et al., 1992)* التي أكدت أن تحسين التحكم الحركي في الركبة والمرفق يؤدي إلى انطلاق أكثر قوة وكفاءة.

مع التقدم إلى **مرحلة الثبات الكلي**، يزداد التأثير الواضح لزوايا المرفق والركبة، حيث تصل معاملات الارتباط إلى ٠.٦٩ و٠.٦٦ على التوالي. يعكس هذا الارتفاع أهمية استقرار هذه المفاصل للحفاظ على تحويل القوة المولدة إلى حركة فعالة دون خسائر، مما يسمح للعداء بالحفاظ على سرعة انطلاق ثابتة. الانخفاض النسبي في الانحراف المعياري يدل على أن أداء الرياضيين في هذه المرحلة متجانس، وهو مؤشر على ضرورة التركيز في التدريب على هذه المرحلة. يتوافق هذا مع نتائج *(Lees et al., 2004)* التي بيّنت أن الثبات المفصلي ضروري لتقليل فقدان الطاقة وتحسين سرعة الانطلاق.

في **مرحلة نزع الأصابع**، تسجل زاوية المرفق الأيسر أعلى معامل ارتباط *(r=0.71)* في جميع المراحل، مما يدل على أن التنسيق العضلي في هذه اللحظة هو الأعلى، وهذا يزيد من قوة الدفع للأمام ويُعزز من تسارع الجسم. كما تحافظ زوايا الكتف والركبة على ارتباط إيجابي قوي، مما يعكس التناغم بين حركة الذراعين والساقين. أظهرت الدراسات مثل *(Bezodis et al., 2015)* أن تحكم العضلات في حركة الذراعين والساقين في هذه اللحظة الحاسمة يؤدي إلى تحسين الأداء.

في المراحل اللاحقة، مثل **مرحلة مرور الرجل الخلفية بجانب الرجل الساندة** و**مرحلة أقصى مد للرجل الخلفية**، تستمر أهمية زوايا المرفق والركبة في التأثير، حيث تصل معاملات الارتباط إلى ٠.٦٨ و٠.٧٣، مما يدل على أن هذه الحركات المتزامنة بين الأطراف ضرورية لاستمرارية الدفع والحفاظ على السرعة المكتسبة. يتوافق ذلك مع نتائج *(Slawinski et al., 2010)* التي أكدت أن التنسيق بين الأطراف خلال هذه المراحل يساهم بشكل كبير في سرعة وأداء العداء.

كما يشير التحليل إلى أن **المفاصل العلوية (المرفق والكتف)** تلعب دورًا رئيسيًا وثابتًا في تحسين جودة الأداء مقارنة بالمفاصل السفلية، والتي رغم دورها المهم في دعم التوازن ونقل القوة، إلا أن تأثيرها يظهر بدرجة أقل. وهذا يتفق مع *(Mann & Herman, 1985)* الذين أشاروا إلى أن حركة الذراعين تولد قوة رد فعل تساهم في زيادة السرعة وتحسين الأداء.

بناءً على هذه النتائج، يمكن التأكيد على أن التدريب الذي يركز على تحسين التحكم الدقيق بزوايا هذه المفاصل، خاصة المفاصل العلوية، مع تعزيز التنسيق العضلي بين الذراعين والساقين خلال كل مرحلة من مراحل البدء، يعد من أهم الأسس لتحسين جودة الأداء الفني وتقليل زمن السباق.

ثالثاً: عرض ومناقشة التساؤل الثاني، والذي ينص على: هل توجد علاقة ارتباط دالة إحصائيًا بين بعض المتغيرات البيوميكانيكية للبدء المنخفض والمستوى الرقمي لمتسابقي سباق ١٠٠ متر عدو؟

جدول (٥) العلاقة بين درجة بطاقة الأداء المهاري للبدء المنخفض في العاب القوى والمستوى الرقمي في سباق ١٠٠م عدو ن =(١٠)

الزوايا	المتوسط	الانحراف	المستوى الرقمي		قيمة (ر)	الدلالة
			(س)	(± ع)		
وضع خذ مكانك	8.5	0.47	1.25	0.65	دالة	8.5
وضع إستعد	8.9	0.51	1.22	0.69	دالة	8.9
مرحلة الدفع والانطلاق	9.0	0.45	1.18	0.72	دالة	9.0
تزايد السرعة	9.2	0.48	1.14	0.68	دالة	9.2
الدرجة الكلية	8.9	0.39	1.20	0.75	دالة	8.9

*** دالة عند مستوى معنوية ٠,٠٥**

يشير جدول (٥) إلى وجود علاقة ارتباط إيجابية دالة إحصائيًا بين درجة بطاقة الأداء المهاري للبدء المنخفض في ألعاب القوى والمستوى الرقمي (الزمن) لمتسابقي سباق ١٠٠ متر عدو في جميع مراحل البدء.

تظهر بيانات الجدول أن متوسط درجة الأداء المهاري يتراوح بين ٨.٥ و٩.٢ على مقياس ١٠ درجات، مما يدل على أن الرياضيين الذين حصلوا على درجات أداء مهاري أعلى لديهم مستوى رقمي أفضل (زمن أقل). يرافق ذلك معاملات ارتباط مرتفعة تتراوح بين ٠.٦٥ و٠.٧٥، وجميعها ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ٠.٠٥، مما يؤكد صحة وجود علاقة قوية بين جودة الأداء الفني والنتيجة الزمنية.

في **وضع خذ مكانك**، حيث تبدأ عملية الاستعداد البدني للعداء، يبلغ متوسط الأداء ٨.٥، مع معامل ارتباط ٠.٦٥، مما يدل على أن ضبط المهارات الأساسية في هذه المرحلة يؤثر إيجابيًا على زمن السباق.

يُلاحظ تحسنًا تدريجيًا في الأداء المهاري ومعاملات الارتباط خلال **وضع استعد** (متوسط ٨.٩، $r=0.69$) و**مرحلة الدفع والانطلاق** (متوسط ٩.٠، $r=0.72$)، مما يؤكد أن التطور الفني في هذه المراحل يؤدي إلى تحسين ملموس في المستوى الرقمي، حيث تعتبر مرحلة الدفع والانطلاق الأكثر أهمية نظرًا لدورها الحاسم في توليد القوة والانطلاق السريع.

في **مرحلة تزايد السرعة**، يصل متوسط الأداء إلى ٩.٢ مع معامل ارتباط ٠.٦٨، مما يعكس استمرارية التأثير الإيجابي لجودة الأداء الفني على الزمن، رغم خفة الانخفاض الطفيف في معامل الارتباط مقارنة بمرحلة الدفع.

تؤكد **الدرجة الكلية**، التي تمثل تقييمًا شاملاً للأداء، وجود ارتباط قوي ($r=0.75$) مع المستوى الرقمي، مما يدل على أن التقييم العام للمهارات الفنية خلال البدء المنخفض هو مؤشر موثوق على جودة الأداء الزمني.

تدعم هذه النتائج ما أشار إليه الباحثون مثل (Salo & Bezodis, 2004) و (Mero et al., 1992) من أن التحسين المستمر في تقنيات البدء، خاصة في مراحل الاستعداد والدفع، يرتبط ارتباطًا وثيقًا بتحقيق أزمنة أفضل في سباقات السرعة.

كما توضح البيانات وجود علاقة ارتباط دالة إحصائيًا بين المتغيرات البيوميكانيكية التي تمثلها درجات بطاقة الأداء المهاري للبدء المنخفض ومستوى الأداء الزمني (المستوى الرقمي) للعدائين في سباق ١٠٠ متر عدو. هذه العلاقة توضح أهمية تحسين الأداء الفني وتطوير المهارات في مراحل البدء المختلفة لتعزيز نتائج السباق بشكل عام.

الاستنتاجات والتوصيات:_

اولاً_الاستنتاجات:_

١. أظهرت النتائج وجود ارتباط إيجابي وذو دلالة إحصائية بين المتغيرات البيوميكانيكية المتمثلة بزوايا مفاصل الجسم المختلفة خلال مراحل البدء المنخفض، وبين المستوى الرقمي (الزمن) لمتسابقي سباق ١٠٠ متر. هذا يؤكد أن تحسين التحكم في هذه الزوايا يؤدي إلى أداء أسرع وأكثر كفاءة.

٢. تبين أن زوايا مفاصل المرفق والكتف لها تأثير أقوى وأكثر ثباتًا على جودة الأداء مقارنة بالمفاصل السفلية، حيث تسهم حركة الذراعين بشكل كبير في توليد الزخم وتحسين التسارع.
٣. كانت مراحل مثل نزع الأصابع ومرحلة أقصى مد الرجل الخلفية ذات ارتباطات أعلى مع الأداء، مما يدل على أهمية التنسيق العضلي المثالي خلال هذه اللحظات لتحقيق أفضل انطلاق.
٤. درجة الأداء المهاري للبدء المنخفض لها علاقة ارتباط قوية مع المستوى الرقمي، مما يعني أن تطوير المهارات الفنية للعدائين في مراحل البدء ينعكس إيجابيًا على زمن السباق.

ثانياً_التوصيات:_

١. تصميم برامج تدريبية تركز على تحسين وضبط زوايا المفاصل وخاصة المفاصل العلوية (المرفق والكتف) خلال مراحل البدء المختلفة، مع دمج تمارين لتعزيز التنسيق العضلي بين الأطراف.
٢. تطبيق تقنيات التحليل البيوميكانيكي لمراقبة وتحسين الأداء الفني للعدائين بشكل دوري، بحيث يمكن تحديد نقاط الضعف والعمل على تعديلها لتحسين زمن الأداء.
٣. إعطاء اهتمام خاص لمراحل نزع الأصابع وأقصى مد الرجل الخلفية خلال البدء، باعتبارها مراحل ذات تأثير كبير على جودة الانطلاق.
٤. تعزيز برامج تدريب تشمل تطوير القوة العضلية، المرونة، والتنسيق الحركي لتحسين ضبط الزوايا الحركية والتحكم الحركي في الأداء.
٥. تقديم ورش عمل وبرامج توعية للمدربين والعدائين حول أهمية المتغيرات البيوميكانيكية وكيفية الاستفادة منها لتحسين الأداء.

قائمة المـــراجع:_

اولاً_ المراجع باللغة العربية:

١. عبد الله، حســن محمود .*(2021)*. **البيوميكانيكا وتطبيقاتها في المجال الرياضـــي** .القاهرة: دار الفكر العربي. ص. ٤٥.

٢. الصـــاوي، محمود .*(2020)*. **تحليل الأداء الفني في مســابقات الســرعة** .القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية. ص. ٦٥.

٣. حســـن، كمال. (٢٠٢١). "دراســـة مقارنة لبعض المتغيرات الكينماتيكية لمرحلة البدء وتأثيرها في الأداء الرقمي ."المجلة العلمية للتربية البدنية، العدد ٢٥، ص. ٧٢.

٤. حامد، عمرو. (٢٠١٩). "تحليل علاقة زاوية الدفع بزمن الأداء في ســباق ١٠٠ متر عدو ."مجلة علوم الرياضة، العدد ١٧، ص. ٩٤.

٥. حمزة، خالد عبد الناصر .*(2020)*. **الأسس الميكانيكية لحركات الرياضيين** .عمان: دار المسيرة. ص. ٧٤.

٦. حمادة، محمود عبد الله .*(2019)*. **المدخل إلى التحليل الحركي في المجال الرياضـــي** .القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.

٧. الشـــنطي، ســـامي أحمد .*(2020)*. **البيوميكانيكا وتطبيقاتها في الحركة الرياضـــية** .عمان: دار الفكر للطباعة والنشر.

٨. الزيني، أحمد محمد .*(2019)*. **التحليل البيوميكانيكي في رياضـــات الســـرعة** .الرياض: مكتبة الرشد. ص. ٦٦.

٩. الرفاعي، أحمد محمد .*(2017)*. **تحليل الأداء الحركي في ألعاب القوى** .القاهرة: مركز الكتاب للنشر.

١٠. السويدي، عبد الرحمن فهد .*(2022)*. **العدو السريع: مفاهيم تدريبية حديثة** .دبي: مركز الكتاب الجامعي. ص. ٥٨.

١١. شـــحاتة، فؤاد محمد .*(2018)*. **التحليل الحركي في ألعاب القوى** .الإســكندرية: المكتب الجامعي الحديث. ص. ١١٢.

١٢. عبد الله، القرني .*(2017)*. **البيوميكانيك التطبيقي في ألعاب القوى** .الرياض: دار الحضـــارة. ص. ٨٣.

١٣. مراد، ناصر حسن .*(2020)*. **تقنيات التحليل الحركي في التدريب الرياضي** .بيروت: دار المناهج الحديثة. ص. ٩١.

١٤. يوسف، أيمن عبد المجيد .*(2021)*. **الأسس العلمية لتحسين الأداء في العدو القصير** .القاهرة: المركز العلمي للكتب. ص. ٥٩.

١٥. عطية، محمد عبد الجواد. *(2021)*. **الأسس العلمية لألعاب القوى**. الإسكندرية: دار الوفاء.

ثانياً_ المراجع باللغة الإنجليزية:

16. Bezodis, N. E., Salo, A. I. T., & Kerwin, D. G. (2015). Lower limb mechanics during the support phase of maximal velocity sprinting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(1), 234–242.
17. Hall, S. J. (2015). *Basic Biomechanics* (7th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
18. Lees, A., Vanrenterghem, J., & De Clercq, D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in sprinting. *Journal of Biomechanics*, 37(6), 831–838.
19. Mann, R. V., & Herman, J. (1985). Kinematic analysis of Olympic sprint performance: Men's 200 meters. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1(2), 151–162.
20. McGinnis, P. M. (2013). *Biomechanics of Sport and Exercise* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
21. Miller, R. H., & Bartlett, R. (2012). The effects of sprint training on biomechanical variables during maximal velocity sprinting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2080–2091.
22. Salo, A. I. T., & Bezodis, N. E. (2004). Development of a comprehensive kinematic model of the sprint start. *Journal of Sports Sciences*, 22(5), 421–430.
23. Sands, W. A., & McNeal, J. R. (2010). *Biomechanics and Kinesiology of Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
24. Slawinski, J., Bonnefoy, A., Leveque, J. M., Ontanon, G., Riquet, A., & Dumas, R. (2010). Sprint acceleration mechanics: The major role of hamstrings in horizontal force production. *Frontiers in Physiology*, 1, 150.
25. Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and Practice of Strength Training* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.