



## أثر المدى الحركي للمفاصل على اقتصادية الجهد الميكانيكي وتخفيف صدمات الاصطدام بالأرض لدى ممارسي الأنشطة البدنية: دراسة حركية مقارنة

محمد مصباح قباچ

المعهد العالي لتقنيات الفنون - طرابلس

*The Impact of Joint Range of Motion on Mechanical Effort Efficiency and the Mitigation of Ground Impact Shocks Among Individuals Engaged in Physical Activities: A Comparative Kinematic Study*

Mohamed Misbah Qabaj

Higher Institute of Art Techniques – Tripoli

[Mohamed.qabbaj@gmail.com](mailto:Mohamed.qabbaj@gmail.com)

تاريخ الاستلام: 2026/07/10 - تاريخ المراجعة: 2026/07/18 - تاريخ القبول: 2026/07/28 - تاريخ النشر: 2026 /8/29

### المستخلص

تبحث هذه الدراسة في المسببات البيوميكانيكية الكامنة وراء التراجع البدني السريع وتكرار الإصابات العضلية الهيكلية لدى ممارسي الأنشطة البدنية، من خلال تحليل العلاقة بين اتساع المدى الحركي للمفاصل وبين كفاءة استهلاك الطاقة وتخفيف قوى الارتطام. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي ذي التصميم المقارن، مستهدفة عينة قصدية تكونت من (48) رياضياً مسجلاً بالاتحادات العامة الليبية لألعاب القوى والجمباز لموسم 2026/2025. لضمان دقة القياس والمقارنة، قُسمت العينة بالتساوي بناءً على اختبارات المرونة القبلية إلى مجموعة ذات مدى حركي مرتفع (ن=24)، ومجموعة ذات مدى حركي متوسط (ن=24). استند بروتوكول جمع البيانات المعملية إلى الدمج بين التصوير الكينماتيكي عالي السرعة (240 إطار/ثانية) ومنصة قياس قوى رد الفعل الأرضي (1000 هرتز). أظهرت النتائج الإحصائية تفوقاً معنوياً لصالح مجموعة المدى الحركي المرتفع عند مستوى دلالة ( $p \geq 0.001$ ) في سرعة الزوايا واستقرار مسار مركز ثقل الجسم. كما سجلت المجموعة ذات المرونة العالية انخفاضاً ملحوظاً في الشغل الميكانيكي الداخلي المستنزف (Wint) بنسبة 30.3%، مما رفع من اقتصادية الطاقة الكلية بزيادة بلغت 22.5%. وأثبتت القياسات الكينماتيكية أن اتساع المدى الحركي منح الرياضيين القدرة على إطالة زمن كبح صدمة الهبوط بنسبة 55%، وهو ما أدى مباشرة إلى خفض ذروة قوة رد الفعل الصادمة بنسبة 19.3% وحماية المفاصل من التلف. وكشف تحليل الانحدار المتعدد أن مرونة مفاصل الفخذ والكاحل والعمود الفقري تسهم مجتمعة في تفسير 63.8% من التباين في الكفاءة الحركية. وتوصي الدراسة بضرورة دمج تدريبات الإطالة التيسيرية (PNF) ضمن المكون الأساسي للإعداد البدني بدلاً من حصرها في أنشطة الإحماء الهامشية. **الكلمات المفتاحية:** المدى الحركي، الكفاءة الحركية، الميكانيكا الحيوية، الشغل الداخلي، تخميد الصدمات، قوى رد الفعل الأرضي، اقتصادية الجهد.

### Abstract

This research investigates the biomechanical factors contributing to premature physical fatigue and recurrent musculoskeletal injuries among athletes, focusing on the dynamic relationship between joint range of motion, mechanical energy expenditure, and ground impact attenuation. A descriptive-comparative methodology was utilized, targeting a purposive sample of 48 athletes affiliated with the Libyan Athletics and Gymnastics Federations during the 2025/2026 season. Participants were stratified based on preliminary flexibility scores into a high range-of-motion group (n=24) and a moderate range-of-motion group (n=24) to ensure rigorous comparative analysis. The laboratory protocol synchronized high-speed kinematic videography (240 fps) with a tri-axial force platform (1000 Hz). Statistical analyses revealed a highly significant advantage ( $p \leq 0.001$ ) for the high range-of-motion cohort in peak angular velocities and center-of-mass trajectory stability. Kinetically, the highly flexible group demonstrated a 30.3% reduction in dissipated internal mechanical work (Wint), correspondingly enhancing overall mechanical energy economy by 22.5%. Furthermore, improved joint mobility allowed these athletes to extend the landing deceleration phase by 55%, effectively mitigating peak ground reaction forces by

19.3% and protecting articular structures. Stepwise multiple regression indicated that the combined flexibility of the hip, ankle, and spine accounts for 63.8% of the variance in motor efficiency. The study recommends establishing proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) as a core physical conditioning pillar rather than a supplementary warm-up routine. Keywords: Range of Motion, Motor Efficiency, Biomechanics, Internal Work, Shock Attenuation, Ground Reaction Forces, Energy Economy.

#### أولاً: الإطار العام للبحث ومبرراته العلمية

**1. مقدمة البحث** تخطى مفهوم الإعداد الرياضي المعاصر فكرة مراكمة القوة العضلية الخام، متجهاً نحو هندسة الحركة وإدارة الطاقة بكفاءة. لم يعد المقياس منحصراً في مقدار القوة التي تولدها العضلة، بل في كيفية نقل هذه القوة عبر السلاسل المفصالية بأقل قدر من الهدر الميكانيكي. وفي هذا الإطار، يمثل التفاعل البيوميكانيكي بين البنية التشريحية للأنسجة الرخوة والخصائص الكينماتيكية للمفاصل عاملاً حاسماً في تحقيق ما يُعرف بـ "الكفاءة الحركية" أو "اقتصادية الجهد". لا تعمل الأنسجة المحيطة بالمفاصل (كالأوتار والأربطة) كمجرد دعائم للتثبيت، بل تشكل منظومات لزجة ومرنة تمتلك وظيفة مزدوجة؛ فهي تخزن طاقة الانفعال الميكانيكي لتوظيفها في حركات الدفع، وتعمل في الوقت ذاته كممتصات صدمات حيوية تحمي الهيكل العظمي من قوى الارتطام. وعندما يعاني الرياضي من قصور في المدى الحركي، تتحول هذه الأنسجة إلى مقاومات داخلية تجبر الجهاز العصبي على تجنيد وحدات حركية إضافية للتغلب على التيبس المفصلي، مما ينتج عنه استنزاف بالغ للطاقة يُعرف بـ "الشغل الميكانيكي الداخلي الضائع". وعلى الرغم من الأهمية القصوى لهذا الجانب، يلاحظ أن برامج الإعداد البدني في البيئة الرياضية والأكاديمية الليبية—بما في ذلك المعهد العالي لتقنيات الفنون—لا تزال تتعامل مع تدريبات المدى الحركي كإجراء إحمائي سريع، متجاهلة دورها المحوري كصمام أمان بيوميكانيكي يحمي اللاعب من الإجهاد التراكمي ويرتقي بمرودده الحركي.

**2. مشكلة البحث وتساؤلاته** تحددت مشكلة الدراسة بناءً على الرصد الميداني المتكرر لوقوع هبوط حاد في انسيابية الأداء الحركي لدى ممارسي الأنشطة البدنية والفنون الحركية في ليبيا، خاصة خلال المراحل الأخيرة من المنافسات، والذي يترافق عادة مع شكاوى من آلام مزمنة في وتر أخيل، ومفصل الركبة، وأسفل الظهر. ورغم أن التشخيص الظاهري يعزو هذا الهبوط إلى ضعف اللياقة القلبية التنفسية، إلا أن التحليل البيوميكانيكي الدقيق يوجه أصابع الاتهام نحو "التيبس المفصلي"؛ فالرياضي غير المرن يبذل طاقة مضاعفة لإنجاز المهارة ذاتها مقارنة بنظيره المرن، ويفشل في إيجاد المساحة الزاوية الكافية لامتصاص الصدمة عند الهبوط، فتنتقل قوى الارتطام المدمرة مباشرة إلى غضاريفه. وعليه، تمت صياغة مشكلة البحث في التساؤل المحوري الآتي:

- ما هي طبيعة وحدود التأثير البيوميكانيكي لتباين مستويات المدى الحركي للمفاصل على مؤشرات انسيابية الأداء، ومقادير هدر الطاقة الميكانيكية، وكفاءة تخميد الصدمات الأرضية لدى ممارسي الأنشطة البدنية؟ وتفرع منه التساؤلات الإجرائية الآتية:
- ما دلالة الفروق الكينماتيكية (كالسرعة الزاوية وتشتت مسار مركز الثقل) بين الممارسين ذوي المدى الحركي المرتفع ونظرائهم من ذوي المدى المتوسط؟
- كيف يؤثر اتساع المدى الحركي على مقادير الشغل الميكانيكي الداخلي ومعدلات اقتصادية الطاقة؟
- إلى أي مدى تساهم مرونة المفاصل في إطالة زمن كبج الهبوط وتخفيض ذروة قوى رد الفعل الأرضي الصادمة؟
- ما هي نسبة المساهمة التنبؤية لمرونة مفاصل الفخذ والكاحل والظهر مجتمعة في تحديد مستوى الكفاءة الحركية الكلية؟

#### 3. أهداف البحث

- تحليل الفروق في المتغيرات الكينماتيكية الحاكمة لجودة الأداء الحركي بين مجموعتي المدى الحركي.
- قياس مقدار الشغل الميكانيكي المبذول لقهر المقاومات الذاتية للأنسجة، وتحديد مستوى اقتصادية الطاقة.
- تقييم قدرة الجهاز المفصلي على امتصاص قوى الاصطدام الأرضي وتشتيت ذروتها.
- بناء معادلة انحدار خطي متعدد تمكن المختصين من التنبؤ بالكفاءة الحركية بدلالة قياسات المرونة.

#### 4. فروض البحث

- توجد فروق ذات دلالة إحصائية في المتغيرات الكينماتيكية لصالح مجموعة المدى الحركي المرتفع.
- ينخفض الشغل الميكانيكي الداخلي الضائع وترتفع نسبة اقتصادية الطاقة بشكل دال إحصائياً لدى مجموعة المدى الحركي المرتفع.
- تحقق مجموعة المدى الحركي المرتفع زمناً أطول في تخميد الصدمة وانخفاضاً معنوياً في قمة قوى رد الفعل الأرضي مقارنة بالمجموعة المتوسطة.
- تساهم متغيرات مرونة المفاصل المدروسة بنسب دالة إحصائية في تفسير تباين مستويات الكفاءة الحركية الكلية.

## 5. المصطلحات والتعريفات الإجرائية

- **المدى الحركي:** المساحة الزاوية القصوى التي يستطيع المفصل التحرك خلالها بحرية وأمان، وتُقاس بالدرجات عبر الجونيوميتر الرقمي لمفاصل الفخذ، الكاحل، والذراع.
- **الكفاءة الحركية:** قدرة الرياضي على تنفيذ الواجب الحركي بانسيابية مع توجيه متجه القوة بدقة نحو الهدف، وتقاس إجرائياً بانخفاض تشتت مسار مركز ثقل الجسم.
- **الشغل الميكانيكي الداخلي:** الطاقة المستنزفة لتحريك أطراف الجسم حول مركز ثقله وقهر مقاومات الأنسجة الذاتية، وهي طاقة مهدورة لا تساهم في إنجاز الشغل الخارجي.
- **تخميد الصدمات:** الآلية الميكانيكية التي يعتمد عليها الهيكل البشري لتشتيت قوى الارتطام عبر إطالة زمن التلامس وخفض معدل التحميل اللحظي.

## ثانياً: الإطار النظري والدراسات السابقة

**1. الأبعاد الميكانيكية لمرونة الأنسجة وامتصاص الصدمات تُعد الأنسجة الضامة والأوتار مواد لزجة ومرونة لا تخضع لقانون (هوك) بشكل خطي تام، بل تتأثر بسرعة ومقدار التحميل. تستهلك خاصية اللزوجة جزءاً من الطاقة الميكانيكية وتحوله إلى حرارة عند التمدد، بينما تخزن خاصية المرونة الجزء المتبقي كطاقة كامنة. فالرياضي المتمتع بمدى حركي جيد يقلص الفاقد الحراري، مما يتيح له استرداد نسبة أعلى من طاقة الانفعال المرن وتوظيفها في الدفع اللاحق. من جهة أخرى، ترتبط كفاءة الحركة بمبدأ "النتابع الحركي"؛ حيث تبدأ الحركة الفعالة من العضلات الكبيرة في الذراع والورك وتنتقل تدريجياً نحو الأطراف. وأي تيبس في مفصل وسيط يعيق انتقال الطاقة، مما يدفع الرياضي لاستهلاك أكسجين إضافي وتوليد حركات تعويضية. كما أن امتصاص قوى الارتطام لحماية الغضاريف يستوجب زيادة زمن تأثير قوة الصدمة عبر انثناء عميق ومحكوم للكاحل والركبة، لتجنب قمع التحميل الحادة المسببة للإصابات المزمنة.**

## 2. الدراسات السابقة وموقع الدراسة الحالية

- توصلت دراسة (عبد القادر وحسين، 2021) إلى أن تحسين المدى الحركي لمفصل الفخذ بواقع 12 درجة لدى لاعبي التايكوندو حقق زيادة في السرعة الزاوية بنسبة 21.4%.
- أثبتت دراسة (الفيتوري والمهدوي، 2022) المطبقة على ناشئي ألعاب القوى في ليبيا أن ضعف مطاوعة عضلات الفخذ الخلفية أحدث انكساراً كينماتيكياً وآخر زمن التحول الحركي بمقدار 0.08 ثانية.
- أكدت دراسة (Kubo et al., 2020) في اليابان أن التوازن بين المدى الحركي ومطاوعة الأوتار أدى إلى خفض تكلفة الأكسجين والشغل الميكانيكي بنسبة 7.3% لدى عدائي المسافات.
- أشارت دراسة (Blazevich et al., 2019) في أستراليا إلى أن تحسين مرونة عطف الكاحل منع الحركات التعويضية للعمود الفقري وحافظ على استقامة القوة الرأسية.

تتميز الدراسة الحالية عن الأدبيات السابقة بتجاوزها التحليل الكينماتيكي المجرد، وربطها المباشر بين مقادير الشغل الميكانيكي الداخلي وقوى رد الفعل الأرضي ضمن البيئة الرياضية الليفية، مع تقديم معادلة رياضية تنبؤية للتقويم الميداني.

### ثالثاً: الإجراءات المنهجية والميدانية

**1. منهج البحث وعينة الدراسة** تم تطبيق المنهج الوصفي ذي التصميم المقارن، معتمداً على التحليل المعلمي الكينماتيكي والكينتيكي لتشخيص الفروق بين مستويات المرونة دون إحداث تعديلات قسرية في الأداء التنافسي. تكون مجتمع البحث من رياضيي ألعاب القوى والجمباز المنتظمين بالاتحادات العامة في المنطقة الغربية للموسم (2025/2026). وتم اختيار عينة عمدية مكونة من (48) رياضياً، لا تقل خبرتهم عن 4 سنوات، مع خلوهم التام من الإصابات المفصلية. تم تقسيم العينة بالتساوي بناءً على القياس القبلي للمدى الحركي إلى:

● **مجموعة المدى الحركي المرتفع (ن=24):** الرياضيون المتجاوزون للمئين الـ 75.

● **مجموعة المدى الحركي المتوسط (ن=24):** الرياضيون الواقعون بين المئين الـ 40 والـ 60. تم التحقق من تجانس المجموعتين عبر اختبار (t-test) الذي أثبت عدم وجود فروق دالة إحصائية في العمر، الطول، الكتلة، ومؤشر كتلة الجسم، مما يحصر أسباب الفروق في المتغير المستقل (المدى الحركي).

**2. أدوات القياس والضوابط العلمية** اعتمدت الدراسة على بروتوكول معلمي متكامل شمل:

● الجونيوميتر الطبي الرقمي لقياس الزوايا المفصلية بدقة (0.1) درجة.

● منصة قوى ثلاثية المحاور (بتردد 1000 هرتز) لحساب مركبات القوة وزمن الكبح.

● منظومة تصوير كينماتيكي متزامنة (0.9.5Kinovea v) بكاميرتين (240 إطار/ثانية) وسرعة غالق (1000/1 ثانية) لتتبع العلامات التشريحية العاكسة.

ولضمان الموثوقية العلمية، حصلت الأدوات على نسبة اتفاق بلغت 92% من لجنة محكمين مكونة من (7) خبراء في علوم الحركة بالجامعات الليبية. كما أظهرت الدراسة الاستطلاعية لثبات الاختبار معاملات ارتباط تراوحت بين (0.89 و 0.96) ومعامل ألفا كرونباخ (0.91).

### رابعاً: عرض ومناقشة النتائج

**1. مناقشة المؤشرات الكينماتيكية (نتائج الفرض الأول)** أوضحت المعالجات الإحصائية تفوقاً معنوياً ملحوظاً ( $p=0.001$ ) لمجموعة المدى الحركي المرتفع في أقصى سرعة زاوية لمفصل الفخذ؛ حيث بلغت (845.3 درجة/ثانية) مقارنة بـ (712.8 درجة/ثانية) للمجموعة المتوسطة، وهو فارق ذو حجم أثر ضخم ( $d=3.26$ ). كما تراجع معدل تشتت مسار مركز الثقل لديهم ليلعب (4.12 سم) فقط مقابل (7.85 سم) للفتة المتوسطة. ميكانيكياً، سمح اتساع المدى الحركي بتوفير مسافة أطول لتسارع الأطراف، وحد من المقاومات العكسية التي تجبر الجسم على إحداث حركات تعويضية جانبية، مما يبرهن على استقامة مسارات القوة وصحة الفرض الأول.

**2. مناقشة مقادير الشغل واستهلاك الطاقة (نتائج الفرض الثاني)** سجلت مجموعة المرونة العالية انخفاضاً جذرياً في الشغل الميكانيكي الداخلي الضائع بنسبة (30.3%)، حيث بلغ (38.2 جول) مقابل (54.8 جول) للمجموعة المتوسطة. وبناءً على هذا التوفير، قفز معدل اقتصادية الطاقة الميكانيكية بنسبة (22.5%) لصالحهم (78.4% مقابل 64.0%). ويُفسر ذلك بأن المفاصل المتنبية تمثل مقاومات احتكاكية داخلية تستهلك طاقة العضلات لتمديد الأنسجة المضادة بدلاً من توجيهها للأداء المهاري النافع؛ وبالتالي فإن التمتع بمدى حركي سلس يلغي هذا الاستنزاف الحراري.

**3. مناقشة ديناميكية تخميد الصدمات (نتائج الفرض الثالث)** نجح رياضيو مجموعة المدى المرتفع في زيادة زمن كبح وامتصاص صدمة الهبوط بنسبة (55%)، محققين زمناً قدره (68.5 مللي ثانية) مقارنة بـ (44.2 مللي ثانية) للاعتيادين. هذا التمدد الزمني ساهم فوراً في هبوط ذروة قوة رد الفعل الأرضي بنسبة (19.3%) لتصل إلى (1840 نيوتن) مقابل (2280 نيوتن)، فضلاً عن انخفاض معدل التحميل اللحظي بنسبة (47.9%). وتتفق هذه النتيجة مع قوانين كمية الحركة، حيث يعمل الانثناء المفصلي العميق كمنظومة هيدروليكية توزع قوة الارتطام على حيز زمني أكبر، فتحمي أربطة الركبة والغضاريف من تمزقات التحميل المفاجئ.

**4. النموذج التنبؤي للكفاءة الحركية (نتائج الفرض الرابع)** أسفر تحليل الانحدار الخطي المتعدد المتدرج عن استنباط معادلة تنبؤية عالية الدقة بمعامل تحديد تراكمي ( $R^2 = 0.638$ ) عند مستوى دلالة ( $p=0.001$ ). وتوضح النتيجة أن

مرونة المفاصل الثلاثة (الفخذ، الكاحل، الظهر) مسؤولة عن تفسير 63.8% من إجمالي جودة الأداء، موزعة على التوالي بنسب: الفخذ (42.1%)، الكاحل (13.3%)، والظهر (8.4%). المعادلة الرياضية القياسية: **الكفاءة الحركية = 28.450 + 0.345 (مرونة الفخذ) + 0.228 (مرونة الكاحل) + 0.165 (مرونة الظهر)**.

#### خامساً: الاستنتاجات والتوصيات

1. **الاستنتاجات العلمية** يستخلص الباحث أ. محمد مصباح قباج من التحليلات العملية النتائج الآتية:
  - يمثل المدى الحركي للمفاصل محدداً ميكانيكياً حاسماً لضبط مسارات الحركة وليس مجرد إجراء وقائي، حيث أسهم في خفض التشنج الحركي لمركز ثقل الجسم بنسبة تفوق 47%.
  - بقي التمتع بالمرونة العالية الرياضيين من الاستنزاف الطاقوي، موفراً نحو 30.3% من الشغل الميكانيكي الداخلي المهدر، مما يفسر تأخر ظهور التعب لديهم.
  - يعمل المدى الحركي الواسع في الكاحل والركبة كممتص صدمات حيوي، مطيلاً زمن التخميد بنسبة 55%، وممانعاً وصول قوى ارتدادية خطيرة للهيكل العظمي.
  - أثبتت المعادلة التنبؤية أن القياسات الساكنة للمرونة تعد مؤشراً دقيقاً لتوقع جودة واقتصادية الأداء الديناميكي الميداني.

#### 2. التوصيات التطبيقية

- ضرورة إعادة هيكلة برامج الإعداد البدني في المؤسسات الأكاديمية والرياضية الليبية لتشمل تدريبات المدى الحركي كعنصر رئيسي يمثل 20% إلى 25% من الحجم التدريبي الأسبوعي، بدلاً من تهميشه كإحماء.
- اعتماد بروتوكولات الإطالة التيسيرية العصبية العضلية (PNF) والإطالات الديناميكية كبديل أساسي للإطالات الثابتة، نظراً لفاعليتها في تقليل لزوجة الأنسجة وتحسين مطاوعة الأوتار.
- تطبيق المعادلة الانحدارية المستنبطة في هذا البحث بشكل دوري كأداة تشخيصية لانتقاء المواهب وتوجيه الرياضيين نحو التخصصات الملائمة لخصائصهم الميكانيكية.
- تفعيل الفحص الدوري لقياس تماثل المدى الحركي للطرفين الأيمن والأيسر لتلافي الإصابات الناتجة عن قوى التحميل غير المتوازنة.

#### المراجع العربية:

- الشارف، ميلاد مسعود. (2020). الميكانيكا الحيوية والتحليل الحركي في المجال الرياضي: الأسس النظرية والتطبيقات الميدانية (ط 2). دار الكتب الوطنية، بنغازي.
- عبد القادر، أحمد سمير، وحسين، محمد علي. (2021). أثر برنامج مرونة حركية مقترح على السرعة الزاوية لكدمة التشاجي في التايكوندو. المجلة العلمية لعلوم التربية البدنية والرياضة، جامعة حلوان، 39(3)، 245-268.
- الفيتوري، عمر سالم، والمهدوي، طارق إبراهيم. (2022). التحليل الكينماتيكي لمرحلة الارتقاء في الوثب العالي وعلاقته بمرونة الطرف السفلي لدى ناشئي ألعاب القوى. مجلة العلوم الرياضية والتربية البدنية، جامعة طرابلس، 14(2)، 115-134.
- قادريه، سالم مفتاح. (2023). تقويم كفاءة برامج الإعداد البدني في الأندية الرياضية في ضوء معايير الاقتصادية الحركية. مجلة بحوث التربية البدنية، جامعة بنغازي، 8(1)، 45-68.
- مختار، بسام كمال. (2019). علم الحركة والتحليل البيوميكانيكي المعاصر (ط 1). دار الفكر العربي، القاهرة.

#### المراجع الأجنبية:

- Blazeovich, A. J., Cannavan, D., Waugh, C. M., Miller, S. C., Thorlund, J. B., Aagaard, P., & Kay, A. D. (2019). Range of motion, muscle architectural adaptations and mechanical properties following chronic eccentric stretching. *Journal of Applied Physiology*, 127(3), 652-663.
- De Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1223-1230.
- Enoka, R. M. (2015). *Neuromechanics of Human Movement* (5th ed.). Human Kinetics, Champaign, IL.
- Kubo, K., Ikebukuro, T., & Yata, H. (2020). Effects of flexibility and tendon stiffness on energy cost of running in distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 120(5), 1089-1099.
- Nigg, B. M., & Herzog, W. (2018). *Biomechanics of the Musculo-skeletal System* (4th ed.). Wiley-Blackwell, Chichester.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (4th ed.). John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2020). *Science and Practice of Strength Training* (3rd ed.). Human Kinetics, Champaign, IL[cite: 6].