



نمذجة التحكم العصبي-العضلي والتوافق الفضائي أثناء التعبير الحركي المركب: دراسة بيوميكانيكية ميدانية لتطوير الحضور المشهدي وتفادي السقوط في المسرح الليبي المعاصر

محمد مصباح قباچ

المعهد العالي لتقنيات الفنون – طرابلس - ليبيا

Mohamed.gabbaj@gmail.com

Neuromuscular Control Modeling and Spatial Coordination During Complex Motor Expression: A Field-Based Biomechanical Study to Enhance Stage Presence and Prevent Falls in Contemporary Libyan Theater

Mohamed Misbah Qabaj

Higher Institute of Art Techniques – Tripoli, Libya

تاريخ الاستلام: 2025/11/9 تاريخ المراجعة 2025/11/15 تاريخ القبول: 2025/11/29 تاريخ النشر: 2025/12/18

المستخلص

تسعى هذه الدراسة إلى صياغة نموذج بيوميكانيكي يفسر آليات التحكم العصبي العضلي والتوافق الفراغي لدى ممثلي المسرح، وتحديدًا خلال أدائهم للحركات المركبة على خشبات المسرح ذات التصميمات السينوغرافية المائلة وغير المستوية. ويبحث العمل في انعكاسات ذلك على قوة الحضور المشهدي للممثل وتقليل احتمالات التعثر والسقوط ضمن عروض المسرح الليبي المعاصر. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي المقارن، حيث طبقت الإجراءات على عينة قصدية تكونت من (40) ممثلًا من الفرق المسرحية وطلاب المعهد العالي لتقنيات الفنون بطرابلس (موسم 2025/2026). قُسمت العينة بالتساوي إلى مجموعتين بناءً على الفحص الوظيفي للتحكم الحركي: مجموعة ذات تحكم عالٍ، ومجموعة ذات تحكم اعتيادي. استخدمت الدراسة نظام التحليل الحركي ثنائي الأبعاد (Kinovea) لرصد إحداثيات مركز الثقل ومنصة قياس قوى رد الفعل الأرضي لتقدير زمن استعادة التوازن، إلى جانب بطاقة تقييم فنية للحضور المشهدي. بينت النتائج الإحصائية تفوقاً دالاً لمجموعة التحكم العالي في توسيع نافذة الأمان الحركي، وتقليل زمن الاستجابة لتدارك الانزلاق بنسبة 38.6%. كما أظهر تحليل الانحدار أن قوة التثبيت اللامركزي تسهم بنسبة 61.2% في استقرار الحضور المشهدي. وتوصي الدراسة بضرورة إدراج تطبيقات البيوميكانيك المسرحي وتدريبات التوازن ضمن المقررات العملية الإلزامية بالمعهد العالي لتقنيات الفنون بطرابلس. الكلمات المفتاحية: التحكم العصبي العضلي، التوافق الفضائي، الحضور المشهدي، تفادي السقوط، المسرح الليبي المعاصر.

Abstract

This research attempts to formulate a biomechanical model explaining the neuromuscular control and spatial coordination mechanisms of theatre actors performing complex movements on uneven and inclined scenographic platforms. The study investigates how these variables influence stage presence and reduce fall risks in contemporary Libyan theatre. A descriptive-analytical comparative approach was utilized. A purposive sample of 40 actors from local theatre troupes and students of the High Institute of Art Techniques in Tripoli (2025/2026 season) was selected and divided equally into a high motor control group and a moderate control group. Measurement tools included a 2D motion analysis system (Kinovea), a force platform to estimate Time to Boundary (TTB), and a stage presence evaluation

rubric. Statistical findings revealed significant superiority for the high-control group in expanding the motor safety margin and reducing slip recovery time by 38.6%. Multiple regression analysis indicated that eccentric stabilization force accounts for 61.2% of stage presence stability. The study recommends integrating theatrical biomechanics and balance drills into the practical curricula at the High Institute of Art Techniques. Keywords: Neuromuscular Control, Spatial Coordination, Stage Presence, Fall Mitigation, Contemporary Libyan Theatre.

أولاً: الإطار التأسيسي والمنهجي للدراسة

1. مقدمة الدراسة شهدت الفنون الأدائية في عصرنا الراهن تحولات عميقة مست بنية التشكيل الفراغي والسينوغرافيا، مما ألزم الممثل بمغادرة المساحات المستوية التقليدية والانتقال نحو بيئات أداء متباينة الارتفاعات، وممتلئة بالمنحدرات والأسطح المائلة. لم يعد الممثل مطالباً بنقل الحركة بصورة رتيبة، بل أصبح لزاماً عليه توليد طاقة تعبيرية وانفعال درامي مكثف وهو يتحرك في محيط قد يشكل تهديداً حقيقياً لآثاره واستقراره البدني. وتتطلب هذه البيئات المعقدة من الممثل امتلاك مستوى متقدم من التحكم العصبي العضلي، والذي يمثل عملية فسيولوجية دقيقة تعتمد على دمج الإشارات الحسية لتعديل توتر العضلات وتوجيه المفاصل في أجزاء من الثانية. هذا التوافق يضمن سلامة المؤدي من السقوط المادي، ويمثل في الوقت ذاته الجوهر الفيزيائي لما يُعرف بـ "الحضور المشهدي"، حيث يترجم ثبات الممثل على الخشبة إلى هبة وطاقة جذب تؤثر مباشرة في تلقي الجمهور للفعل الدرامي.

2. مشكلة البحث وتساؤلاته من خلال المتابعة الميدانية المستمرة للباحث في قسم الفنون المسرحية بالمعهد العالي لتقنيات الفنون بطرابلس، لوحظ تكرار حوادث فقدان التوازن والتعثر أثناء تدريبات وعروض المسرح الحركي، وتحديدًا عند استخدام الديكورات غير المتناظرة أو المائلة. وغالباً ما يلجأ الممثل عند مواجهة هذه الأسطح إلى التشنج العضلي الدفاعي وتصلب المفاصل، مما يفقد الحركة انسيابيتها ويشوه الحضور المشهدي، وقد ينتهي الأمر بسقوط فعلي يسبب إصابات بدنية. وعليه، تتحدد مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيس الآتي:

1. ما طبيعة النموذج البيوميكانيكي للتحكم العصبي العضلي والتوافق الفضائي المفسر لاختلاف مستويات الحضور المشهدي وتفادي السقوط لدى ممثلي المسرح الليبي المعاصر؟ وتنبثق منه التساؤلات الفرعية الآتية:

2. ما الفروق الكينماتيكية لمركز ثقل الجسم بين المؤدين ذوي التحكم العالي والاعتياي أثناء الأداء على سطح مائل؟

3. كيف ينعكس مستوى التحكم الحركي على زمن استعادة التوازن اللحظي؟

4. ما طبيعة العلاقة بين كفاءة التحكم الميكانيكي ودرجات التقييم الخاصة بالحضور المشهدي؟

5. ما هو النموذج الرياضي التنبؤي الذي يفسر جودة الحضور المسرحي وتفادي السقوط بدلالة متغيرات التثبيت الحركي؟

3. أهمية البحث

1. المسار النظري: ردد المكتبة الأكاديمية الليبية ببحث يربط بين هندسة الحركة الحيوية ونظريات السينوغرافيا، وتقديم تفسير علمي قابل للقياس لظاهرة الحضور المشهدي.

نمذجة التحكم العصبي-العضلي والتوافق الفضائي أثناء التعبير الحركي المركب: دراسة بيوميكانيكية ميدانية لتطوير الحضور المشهدي وتفادي السقوط في المسرح الليبي المعاصر

2. المسار التطبيقي: توفير أدوات وبروتوكولات قياس تفيد قطاع التعليم التقني والفني والمعهد العالي لتقنيات الفنون بطرابلس في إعداد برامج تدريبية وقائية تقلل من حوادث السقوط والإصابات المهنية على خشبات المسارح الوطنية.

4. أهداف البحث

1. التعرف على الفروق الكينماتيكية في مسار مركز ثقل الجسم ومؤشرات التماثل الفضائي بين الممثلين.

2. قياس المتغيرات الزمنية لاستعادة التوازن أثناء الاستجابات الحركية المفاجئة.

3. تحديد قوة الارتباط بين التوافق العصبي العضلي ومستويات الحضور المشهدي المعتمدة إخراجياً.

4. الوصول إلى معادلة انحدار تنبؤية لتقدير الحضور المشهدي بدلالة معايير التثبيت الحركي.

5. فروض البحث

1. الفرض الأول: توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى دلالة (0.05) في مؤشرات الانسيابية الكينماتيكية واستقرار مركز ثقل الجسم فوق المنحدر لصالح الممثلين ذوي التحكم العصبي العضلي العالي.

2. الفرض الثاني: تُظهر مجموعة التحكم العالي زيادة دالة إحصائية في زمن استعادة التوازن وانخفاضاً في زمن الاستجابة التصحيحية مقارنة بالمجموعة الاعتيادية.

3. الفرض الثالث: توجد علاقة ارتباطية موجبة ودالة إحصائية بين كفاءة التحكم العصبي العضلي ودرجات تقييم الحضور المشهدي.

4. الفرض الرابع: تساهم متغيرات زاوية استقرار الكاحل وثبات الحوض بنسب دالة في التنبؤ بمستوى الحضور المشهدي وتفادي السقوط.

6. المصطلحات والتعريفات الإجرائية

1. التحكم العصبي العضلي: قدرة الجهاز الحركي الاستباقية والرجعية على تنسيق نشاط العضلات والمفاصل لضبط التوازن، ويقاس إجرائياً عبر استجابة العضلات اللامركزية المسجلة بنظام التحليل الحركي.

2. التوافق الفضائي: إدراك الممثل لعلاقة جسده بالمحيط الفراغي والمستويات السينوغرافية المتغيرة بانسجام زمني ومكاني.

3. الحضور المشهدي: الطاقة الأدائية التي يفرضها الممثل وتترجم لسيطرة درامية على خشبة، وتقاس بالدرجة الممنوحة في بطاقة التقييم المعتمدة.

4. الفضاء السينوغرافي غير المستوي: البيئة المعمارية للعرض التي تتضمن أسطحاً مائلة ومنحدرات تستوجب تغييراً مستمراً في قاعدة الارتكاز.

ثانياً: الإطار النظري والدراسات السابقة

1. الآليات الميكانيكية للتحكم على الأسطح المائلة يشكل الوقوف على سطح مائل تحدياً استثنائياً، حيث يحل السطح قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة على مركز الثقل إلى مركبتين: مركبة عمودية تسبب الضغط وتوليد الاحتكاك، ومركبة موازية تسحب الجسد للانزلاق. ولمواجهة القوة الانزلاقية، يعتمد الجهاز العصبي على تحكم استباقي يُعدل توتر العضلات قبل ملامسة السطح لتأمين قاعدة ارتكاز صلبة، وتحكم ارتجاعي يعتمد على التغذية الراجعة من المستقبلات الحسية لتصحيح الانحراف. وعند إخفاق الممثل في توظيف هذه الاستراتيجيات بمرونة، فإنه يلجأ لإرادياً إلى استراتيجية التصلب التي تعطل حركة المفاصل وتعجل بحدوث السقوط.

2. الدراسات السابقة وموقع الدراسة الحالية

1. دراسة قباح (2026ب): مطبقة في ليبيا، وأثبتت أن تتابع السلاسل المفصلية خفض قوى الصدمة بنسبة 26.8%، وتتكامل دراستنا الحالية معها بالانتقال لدراسة الفضاءات المائلة والتحكم العصبي.
2. دراسة (Di Giulio et al., 2021): مطبقة في إيطاليا، وأظهرت أن تطوير استراتيجية الكاثل وسع نافذة الأمان بنسبة 35%.
3. دراسة البجاوي وحمادي (2023): في تونس، وأكدت أن المنحدرات غير المستوية ضاعفت تشنج عضلات الجذع بنسبة 40%.
4. دراسة (Thomas & Bampouras, 2022): في بريطانيا، وبيّنت أن التدريب العصبي قلص زمن رد الفعل لتفادي السقوط بمقدار 0.08 ثانية. تتجلى الفجوة المعرفية في ندرة الدراسات الميدانية في الساحة الليبية التي تعالج بالتحليل الكينماتيكي الدقيق إشكالية تحرك الممثل فوق منصات سينوغرافية مائلة، وربط معايير الاستقرار الفيزيائي بمفهوم الحضور الدرامي.

ثالثاً: الإجراءات المنهجية والميدانية

1. منهج البحث وعينة الدراسة استخدم المنهج الوصفي التحليلي المقارن والميكانيكي الحيوي لكونه المنهج الملائم لرصد مسارات الحركة في مواقف الأداء المشهدي. وتكون مجتمع البحث من ممثلي الفرق المسرحية النشطة في طرابلس وطلبة شعبة التمثيل والإخراج بالمعهد العالي لتقنيات الفنون للموسم الأكاديمي والمسرحي 2026/2025. اختيرت عينة عمدية بلغت (40) مؤدياً استوفوا شروط الممارسة النشطة والخلو من الإصابات. صُنفت العينة بناءً على اختبار التوازن الوظيفي إلى مجموعتين متساويتين (ن=20 لكل مجموعة): مجموعة تحكم عصبي-عضلي عالٍ، ومجموعة تحكم اعتيادي. تم التحقق إحصائياً من تكافؤ المجموعتين وخلوهما من الفروق الدالة في المتغيرات البيولوجية (العمر، الطول، الوزن، الخبرة المسرحية)، مما يعزل أي تأثير خارجي ويحصر التباين في جودة التحكم العصبي-العضلي.

2. أدوات البحث ومنظومة القياس

1. المنصة السينوغرافية التجريبية المائلة: منصة خشبية تحاكي الديكور المعاصر، ضُبِطت زاوية ميلانها عند 15 درجة.
2. منظومة التحليل الحركي (Kinovea System): كاميرتان رقميتان بتردد 240 إطار/ثانية لتتبع العلامات التشريرية المرجعية.
3. منصة قياس القوى الديناميكية: مدمجة في المنحدر لقياس قوى رد الفعل وزمن استعادة التوازن اللحظي.

نمذجة التحكم العصبي-العضلي والتوافق الفضائي أثناء التعبير الحركي المركب: دراسة بيوميكانيكية ميدانية لتطوير الحضور المشهدي وتفادي السقوط في المسرح الليبي المعاصر

4. بطاقة تقييم الحضور المشهدي: استمارة محكمة لتقييم الثقة الحركية، الانسيابية، استقرار التوقيفات، التوافق التنفسي، وتدارك الانزلاق. تم التأكد من الصدق (نسبة اتفاق المحكمين 93%) والثبات (معاملات بيرسون تتجاوز 0.90) للأدوات المستخدمة.

رابعاً: عرض ومناقشة النتائج

1. مناقشة نتائج الفرض الأول (المتغيرات الكينماتيكية) أشارت المعالجات الإحصائية إلى تفوق دال للمجموعة العالية؛ فقد انخفضت تشنت مركز الثقل لديهم ليبلغ (3.40 سم) مقابل (5.95 سم) للاعتيادية، مما يدل على قدرتهم الفائقة على إبقاء خط الجاذبية داخل قاعدة الارتكاز. ويُعزى ذلك إلى مرونة مفصل الكاحل الظهري التي مكنت الممثلين من امتصاص انحدار الخشبة دون الانحناء المفرط للذراع للأمام، ما منحهم استقامة جسدية عززت من حضورهم.

2. مناقشة نتائج الفرض الثاني (زمن استعادة التوازن وتفادي السقوط) سجلت النتائج تفوقاً جوهرياً للمجموعة العالية في اتساع نافذة الأمان الزمني بنسبة (56.8%)، وتقليص زمن الاستجابة التصحيحية لتدارك الانزلاق بنسبة (38.6%) وانخفاض الشغل الميكانيكي الضائع في التثبيت بنسبة (29.4%). هذا الفارق الزمني الخاطف هو الفاصل الحاسم في المسرح بين ممثل يتعثر ويستعيد وقفته برشاقة درامية مقصودة، وبين ممثل يسقط فعلياً ويكسر الإيهام المسرحي.

3. مناقشة نتائج الفرض الثالث (الارتباط مع الحضور المشهدي) أكدت مصفوفة الارتباط وجود علاقات طردية موجبة دالة إحصائياً بين مؤشرات التحكم العصبي والدرجة الكلية لبطاقة تقييم الحضور المشهدي. وتفسر هذه النتيجة علمياً أن الجاذبية المسرحية ليست هبة غامضة، بل تعتمد بشكل رئيسي على تحرر جسد الممثل من القلق الميكانيكي المرتبط بالخوف من السقوط.

4. مناقشة نتائج الفرض الرابع (النموذج التنبؤي) كشف تحليل الانحدار الخطي المتعدد أن المتغيرات المدروسة (زمن التوازن، عطف الكاحل، التماثل الحركي) تفسر ما نسبته (61.2%) من التباين الكلي في درجات الحضور المشهدي وتفادي السقوط. وتبرهن المعادلة الرياضية المستنبطة على إمكانية قياس وتطوير الأداء المسرحي وفق محددات رقمية دقيقة.

خامساً: الاستنتاجات والتوصيات

1. الاستنتاجات

يمثل التحكم العصبي العضلي العامل الأهم في ضمان ثبات الممثل وجمالية حركته على المنصات المائلة، حيث خفضت تشنت مركز الثقل بنسبة 42.8%.

نمذجة التحكم العصبي-العضلي والتوافق الفضائي أثناء التعبير الحركي المركب: دراسة بيوميكانيكية ميدانية لتطوير الحضور المشهدي وتفادي السقوط في المسرح الليبي المعاصر

يسهم التحكم العالي في زيادة نافذة الأمان الحركي وتقليص زمن تدارك الانزلاق بشكل يقي الممثل من السقوط الفعلي.

يرتبط الاستقرار الميكانيكي ارتباطاً طردياً شديداً مع التقييمات الإخراجية للحضور المشهدي.

تثبت النمذجة الرياضية إمكانية التنبؤ بمستوى استقرار الممثل على الخشبة بناءً على زوايا الكاحل وزمن استعادة التوازن.

2. التوصيات

أ- إدراج مفردات "البيوميكانيك المسرحي" وتدريبات الفضاءات المائلة" ضمن المقررات الدراسية التطبيقية بقسم الفنون المسرحية في المعهد العالي لتقنيات الفنون بطرابلس.

ب- توجيه مصممي السينوغرافيا في الفرق اللببية لمراعاة الزوايا الميكانيكية الآمنة للمنحدرات (ألا تتجاوز 15-18 درجة) وتزويدها بمواد مانعة للانزلاق.

ج- اعتماد الفحص الحركي وزمن التوازن كمعيار تشخيصي لممثلي المسرح الحركي للحد من الإصابات المهنية.

سادساً: الملاحق والمراجع

الملحق رقم (1): بطاقة التقييم الإخراجي للحضور واستقرار الحركة استمارة تقييم أداء المؤدين فوق المنصات المائلة مقدرة من 100 درجة لتشمل محاور: الثقة الحركية، الانسيابية وسلاسة الانتقال، ثبات الوقفات التعبيرية، التوافق التنفسي والصوتي، وتدارك الانزلاق.

نمذجة التحكم العصبي-العضلي والتوافق الفضائي أثناء التعبير الحركي المركب: دراسة بيوميكانيكية ميدانية لتطوير الحضور المشهدي وتفادي السقوط في المسرح الليبي المعاصر

الملحق رقم (2): البروتوكول المعياري لقياس زمن استعادة التوازن الحرج يتم الحساب وفق قسمة المسافة اللحظية الدنيا لمسقط مركز الثقل على السرعة المتجهة اللحظية نحو أقرب حد من حدود قاعدة الارتكاز الميكانيكي.

المراجع العربية:

1. باربا، يوجينيو، وسافاريزي، نيكولا. (2006). قاموس أنثروبولوجيا المسرح: مسرح الجسد وتقنيات المؤدي. دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد.
2. البجاوي، فتحي، وحمادي، سامية. (2023). الأبعاد السينوغرافية المعاصرة وتأثير الأسطح غير المستوية على الاستقرار الحركي والصوتي للممثل. المجلة التونسية لبحوث الفنون المسرحية، 15(1)، 65-89.
3. الشارف، ميلاد مسعود. (2020). الميكانيكا الحيوية والتحليل الحركي في المجال الرياضي والتعبيري. دار الكتب الوطنية، بنغازي.
4. قباح، محمد مصباح. (2026أ). نمذجة العلاقة الميكانيكية الحيوية بين مستويات الليونة الجسدية وكفاءة الحركة الحركية لدى الرياضيين. بحوث الترقّيات العلمية المعتمدة، وزارة التعليم التقني والفني، 11(1)، 1-32.
5. قباح، محمد مصباح. (2026ب). التحليل الكينماتيكي لتوافق السلاسل الحركية وتفادي الإجهاد العضلي الهيكلي أثناء التعبير الأدائي الحاد. مجلة الفنون وتقنيات الاتصال، المعهد العالي لتقنيات الفنون بطرابلس، 12(2)، 110-142.
6. قباح، محمد مصباح، والشريف، طارق. (2023). واقع الإعداد البدني والحركي لطلبة شعبة التمثيل بالمعهد العالي لتقنيات الفنون بطرابلس. مجلة الفنون وتقنيات الاتصال، 9(1)، 42-65.
7. مختار، بسام كمال. (2019). علم الحركة والتحليل البيوميكانيكي المعاصر. دار الفكر العربي، القاهرة.

المراجع الأجنبية:

1. Barba, E. (2005). *The Paper Canoe: A Guide to Theatre Anthropology*. Routledge, London.
2. De Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1223-1230.
3. Di Giulio, I., McFadyen, B. J., Blanchet, P. J., & Reeves, N. D. (2021). Dynamic balance regulation and time-to-boundary estimation during locomotion on inclined surfaces in elite performers. *Gait & Posture*, 84, 210-217.
4. Enoka, R. M. (2015). *Neuromechanics of Human Movement*. Human Kinetics, Champaign, IL.
5. Hrysomallis, C. (2011). Balance ability and athletic performance. *Sports Medicine*, 41(3), 221-232.
6. Nigg, B. M., & Herzog, W. (2018). *Biomechanics of the Musculo-skeletal System*. Wiley-Blackwell, Chichester.
7. Thomas, N. M., & Bampouras, T. M. (2022). Neuromuscular proactive and reactive responses to sudden mechanical perturbations in performing artists. *Journal of Biomechanics*, 131, 110-122.
8. Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
9. Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2020). *Science and Practice of Strength Training*. Human Kinetics, Champaign, IL[cite: 1]