JMMBS
Journal of Movement Mechanics & Biomechanics Science
ISSN 3070-3662 (ऑनलाइन)

हिन्दी अनुवाद · Hindi translation of the English original

- यह लेख मूल अंग्रेज़ी लेख "Integrated Biomechanical Framework for the Barbell Back Squat: A 26-Parameter Model for Technique Standardization and Injury Risk Reduction" का हिन्दी अनुवाद है। मूल अंग्रेज़ी लेख ही आधिकारिक संस्करण (Version of Record) है; किसी भी विसंगति की स्थिति में अंग्रेज़ी मूल मान्य होगा।
- **DOI:** https://doi.org/10.66078/jmmbs.v3i1.007 — यह DOI मूल अंग्रेज़ी लेख का है; इस अनुवाद के लिए कोई अलग DOI जारी नहीं किया गया है।
- यह अनुवाद मशीन-सहायित है (नवंबर 2026)। लेखकों के नाम, संबद्धताएँ, DOI, ISSN और संदर्भ अपरिवर्तित रखे गए हैं। इसकी विशेषज्ञ हिन्दी भाषा-समीक्षा अभी नहीं हुई है।
- यह अनुवाद मूल PDF के पाठ से तैयार किया गया है; चित्र, तालिकाएँ और समीकरण मूल अंग्रेज़ी PDF में देखें।

ढांचा (परिकल्पना-सृजक) · खुली पहुँच · हिन्दी अनुवाद

बारबेल बैक स्क्वाट के लिए एकीकृत बायोमैकेनिकल फ्रेमवर्क: तकनीक मानकीकरण और चोट के जोखिम में कमी के लिए 26-पैरामीटर मॉडल

मूल अंग्रेज़ी शीर्षक: Integrated Biomechanical Framework for the Barbell Back Squat: A 26-Parameter Model for Technique Standardization and Injury Risk Reduction

Neeraj Mehta
MMSx Authority Institute for Movement Mechanics & Biomechanics Research

Steve Henderson
MMSx Authority Institute for Movement Mechanics & Biomechanics Research

Hatem Spetan
University of Jordan

पत्रिका

Journal of Movement Mechanics & Biomechanics Science (JMMBS) · ISSN 3070-3662 (ऑनलाइन)

खंड / अंक

खंड 3, अंक 1 · 2026

लेख का प्रकार

ढांचा (परिकल्पना-सृजक) (Framework (hypothesis-generating))

DOI (मूल अंग्रेज़ी लेख)

https://doi.org/10.66078/jmmbs.v3i1.007

प्राप्त

2 जनवरी 2026

मूल लेख प्रकाशित

4 मार्च 2026

प्रकाशक

MMSx Authority Institute for Movement Mechanics & Biomechanics Research

सार

पृष्ठभूमि

बैक स्क्वाट एथलेटिक प्रदर्शन, पुनर्वास और शक्ति प्रशिक्षण कार्यक्रमों में सबसे व्यापक रूप से निर्धारित प्रतिरोध अभ्यासों में से एक है। इसके व्यापक उपयोग के बावजूद, एंथ्रोपोमेट्री, गतिशीलता और प्रशिक्षण उद्देश्यों में अंतर के कारण कोचिंग प्रथाओं और निष्पादन रणनीतियों में काफी परिवर्तनशीलता मौजूद है। एकीकृत बायोमैकेनिकल ढांचे की अनुपस्थिति ने असंगत तकनीक निर्देश और यांत्रिक अधिभार और चोट के जोखिम को बढ़ाने में योगदान दिया है।

यह अध्ययन स्क्वाट तकनीक मूल्यांकन को मानकीकृत करने के लिए मौजूदा साहित्य और बायोमैकेनिकल मॉडलिंग से प्राप्त एक वैचारिक बायोमैकेनिकल ढांचा प्रस्तुत करता है।

उद्देश्य

इस पोजीशन पेपर का उद्देश्य बैक स्क्वाट के लिए एक व्यापक बायोमैकेनिकल ढांचे का प्रस्ताव करना है जो तकनीक मानकीकरण और चोट-जोखिम में कमी का मार्गदर्शन करने के लिए एंथ्रोपोमेट्रिक विचारों, संयुक्त यांत्रिकी, न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण और वास्तविक समय बायोमैकेनिकल फीडबैक को एकीकृत करता है।

तरीके

ढांचा बायोमैकेनिकल साहित्य से साक्ष्य को संश्लेषित करता है और त्रि-आयामी गति कैप्चर, बल-प्लेट कैनेटीक्स, सतह इलेक्ट्रोमोग्राफी (ईएमजी), और जड़त्वीय माप इकाई (आईएमयू) डेटा से प्राप्त मात्रात्मक मापदंडों को एकीकृत करता है। स्क्वाट निष्पादन के प्रमुख पहलुओं का वर्णन करने के लिए छब्बीस बायोमैकेनिकल पैरामीटर (ए-जेड) का आयोजन किया गया था, जिसमें समर्थन का आधार, बार पथ यांत्रिकी, संयुक्त कीनेमेटिक्स, टॉर्क वितरण, न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण और लोड के तहत आंदोलन स्थिरता शामिल है।

रूपरेखा और मुख्य पैरामीटर:

प्रस्तावित मॉडल बैक स्क्वाट के दौरान संयुक्त कोण, इंट्रा-पेट दबाव, जमीनी प्रतिक्रिया बल और बार-पथ विचलन के लिए अनुशंसित सीमाएं स्थापित करता है। फ्रेमवर्क महत्वपूर्ण दोष सीमा (उदाहरण के लिए, काठ का लचीलापन> 10 डिग्री, घुटने का वाल्गस> 5 डिग्री, बार पथ

विचलन> 3 सेमी) की पहचान करता है और प्रशिक्षण और पुनर्वास संदर्भों के दौरान वास्तविक समय प्रतिक्रिया की सुविधा के लिए सेंसर-आधारित निगरानी दृष्टिकोण को एकीकृत करता है।

व्यावहारिक निहितार्थ:

वस्तुनिष्ठ बायोमैकेनिकल माप के साथ एंथ्रोपोमेट्रिक वैयक्तिकरण को जोड़कर, यह ढांचा स्क्वाट यांत्रिकी को अनुकूलित करने, प्रदर्शन परिणामों को बढ़ाने और चोट के जोखिम को कम करने के इच्छुक प्रशिक्षकों, चिकित्सकों और शोधकर्ताओं के लिए एक संरचित संदर्भ प्रदान करता है। मानकीकृत बायोमैकेनिकल मापदंडों को अपनाने से निर्देश में स्थिरता में सुधार हो सकता है, आंदोलन स्क्रीनिंग प्रोटोकॉल का समर्थन हो सकता है, और ताकत और कंडीशनिंग में साक्ष्य-आधारित अभ्यास में सुधार हो सकता है।

ग्राफ़िकल सार - शीर्ष पर कॉन्सेप्ट लेआउट शीर्षक

बैक स्क्वाट उपशीर्षक के लिए एकीकृत बायोमैकेनिकल फ्रेमवर्क तकनीक मानकीकरण और चोट के जोखिम में कमी के लिए 26-पैरामीटर मॉडल

चित्रमय सार

तकनीक मानकीकरण, प्रदर्शन परिणामों और चोट जोखिम प्रबंधन में सुधार के लिए एंथ्रोपोमेट्रिक भिन्नता, संयुक्त कीनेमेटिक्स, न्यूरोमस्कुलर सक्रियण और सेंसर-व्युत्पन्न बायोमैकेनिकल माप को एकीकृत करने वाले बैक स्क्वाट के लिए प्रस्तावित बायोमैकेनिकल ढांचे का एक वैचारिक अवलोकन।

[तालिका या चित्र — मूल अंग्रेज़ी PDF देखें।]

कीवर्ड

बैक स्क्वाट, बायोमैकेनिक्स, एंथ्रोपोमेट्री, तकनीक मानकीकरण, चोट की रोकथाम, वास्तविक समय प्रतिक्रिया

परिचय

बैक स्क्वाट सबसे अधिक निर्धारित प्रतिरोध-प्रशिक्षण अभ्यासों में से एक है। व्यापक शोध के बावजूद, एक एकीकृत, साक्ष्य-आधारित दिशानिर्देश की अनुपस्थिति जो व्यक्तिगत शारीरिक अंतर को ध्यान में रखती है, ने कोचिंग प्रथाओं में व्यापक भिन्नता पैदा की है। यह स्थिति पेपर सेंसर-व्युत्पन्न डेटा द्वारा समर्थित एक सुसंगत ढांचे में 26 बायोमैकेनिकल पैरामीटर (ए-जेड लेबल) को समेकित करता है। सिफारिशों का उद्देश्य शोधकर्ताओं, चिकित्सकों, प्रशिक्षकों और अभ्यासकर्ताओं के लिए एक संदर्भ के रूप में काम करना है जो चोट के जोखिम को कम करते हुए प्रदर्शन को अनुकूलित करना चाहते हैं।

बैक स्क्वाट के लिए एकीकृत बायोमैकेनिकल फ्रेमवर्क

प्रस्तावित ढांचा छब्बीस बायोमैकेनिकल मापदंडों को एकीकृत करता है जो सामूहिक रूप से बारबेल बैक स्क्वाट के दौरान एंथ्रोपोमेट्रिक संरचना, संयुक्त यांत्रिकी, न्यूरोमस्कुलर समन्वय और बाहरी यांत्रिक लोडिंग का वर्णन करता है। ये पैरामीटर स्क्वाट तकनीक और मूवमेंट स्थिरता के मूल्यांकन के लिए एक संरचित विधि प्रदान करते हैं।

तालिका 1. बैक स्क्वाट मूल्यांकन के लिए प्रमुख बायोमैकेनिकल पैरामीटर्स का सारांश

[तालिका या चित्र — मूल अंग्रेज़ी PDF देखें।]

प्रस्तावित बायोमैकेनिकल फ्रेमवर्क (ए-जेड) ए: एनाटॉमी और एंथ्रोपोमेट्री व्यक्तिगत संरचनात्मक संरचना (फीमर की लंबाई, टिबिया की लंबाई, धड़ की लंबाई, संयुक्त कोण और मांसपेशी लगाव बिंदु) स्क्वाट यांत्रिकी को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करती है। कोई एक "सार्वभौमिक" तकनीक मौजूद नहीं है। फीमर-टू-धड़ अनुपात> 1.2 के लिए, धड़ का झुकाव आम तौर पर 30-40 डिग्री के बीच होता है, जिसमें टखने का पीछे की ओर झुकना 15-20 डिग्री के लिए आवश्यक होता है। काठ की तटस्थता को बनाए रखने के लिए सीमित डोरसिफ्लेक्सन के लिए एड़ी को 0.75-1.25 इंच ऊपर उठाने की आवश्यकता हो सकती है।

फीमर

धड़ अनुपात

टोर्सो लीन एंकल डॉर्सिफ़्लेक्सन अनुशंसित एड़ी ऊंचाई (°) (°) (इंच)

[तालिका या चित्र — मूल अंग्रेज़ी PDF देखें।]

तालिका 1. स्क्वाट आसन मापदंडों पर फीमर-टू-धड़ अनुपात का प्रभाव

चित्र 1 बैक स्क्वाट यांत्रिकी पर मानवशास्त्रीय प्रभाव।

फीमर-टू-धड़ अनुपात में भिन्नताएं बैक स्क्वाट के दौरान धड़ के झुकाव और टखने की डोरसिफ्लेक्सियन आवश्यकताओं को कैसे प्रभावित करती हैं, इसका चित्रण। अपेक्षाकृत लंबी फीमर वाले व्यक्तियों को आम तौर पर मध्य पैर पर द्रव्यमान के केंद्र-संतुलन को बनाए रखने के लिए अधिक आगे की ओर ट्रंक झुकाव और बढ़े हुए टखने के डोरसिफ्लेक्सन की आवश्यकता होती है। आरेख वंश के दौरान खंड अनुपात और प्रतिपूरक संयुक्त स्थिति के बीच संबंध पर प्रकाश डालता है।

बी: समर्थन का आधार और संतुलन रुख गुणक एम

बाहरी घूर्णन (°)

120 किलोग्राम भार पर पीक जीआरएफ (एन)।

[तालिका या चित्र — मूल अंग्रेज़ी PDF देखें।]

तालिका 2. जमीनी प्रतिक्रिया बल पर रुख की चौड़ाई का प्रभाव (120 किलो बाहरी भार)

ऊँचा

चित्र 2 रुख की चौड़ाई में जमीनी प्रतिक्रिया बल वितरण।

विभिन्न रुख चौड़ाई (1.0×, 1.2×, और 1.4× कंधे की चौड़ाई) पर बैक स्क्वाट के दौरान केंद्र-दबाव (सीओपी) और जमीनी प्रतिक्रिया बल (जीआरएफ) पैटर्न का ऊपर से नीचे का दृश्य। यह आंकड़ा दर्शाता है कि रुख की चौड़ाई पैरों के नीचे और समग्र रूप से बल वितरण को कैसे प्रभावित करती है

लोड स्वीकृति के दौरान स्थिरता। इष्टतम बल समरूपता आम तौर पर नियंत्रित बाहरी पैर रोटेशन के साथ मध्यम रुख चौड़ाई पर देखी जाती है।

सी: मुख्य जुड़ाव और नियंत्रण

गहरी पेट और रीढ़ की हड्डी की मांसपेशियों की सक्रियता धड़ की कठोरता को बनाए रखती है। वलसाल्वा पैंतरेबाज़ी 0-5° लम्बर लॉर्डोसिस को संरक्षित करते हुए 25-35 mmHg का अंतर-पेट दबाव उत्पन्न करती है।

चरण

लक्ष्य IAP (mmHg) लम्बर लॉर्डोसिस (°)

[तालिका या चित्र — मूल अंग्रेज़ी PDF देखें।]

चित्र 3 स्क्वाट स्थिरीकरण के दौरान कोर सक्रियण और अंतर-पेट का दबाव। पेट की सक्रियता को दर्शाते हुए धड़ की मांसपेशियों का क्रॉस-अनुभागीय प्रतिनिधित्व

स्क्वाट के दौरान स्पाइनल स्टेबलाइजर्स। ब्रेसिंग और वलसाल्वा पैंतरेबाज़ी के माध्यम से उत्पन्न इंट्रा-पेट दबाव में वृद्धि रीढ़ की हड्डी की स्थिरता में योगदान करती है और काठ कशेरुकाओं पर कतरनी लोडिंग को कम करती है। छवि भार के तहत तटस्थ रीढ़ की हड्डी के संरेखण को बनाए रखने में समन्वित ट्रंक मांसलता की भूमिका पर प्रकाश डालती है।

डी: गहराई और डोरसिफ्लेक्सन

अनुशंसित गहराई तटस्थ काठ रीढ़ के साथ पटेला पर या उसके नीचे हिप क्रीज है। विशिष्ट श्रेणियाँ: कूल्हे का लचीलापन 110-120°, घुटने का लचीलापन 125-135°, टखने का पीछे का भाग 15-25°।

चित्र 4 विलक्षण और संकेंद्रित स्क्वाट चरणों के दौरान कूल्हे और घुटने के टॉर्क पैटर्न। फोर्स-प्लेट व्युत्पन्न टॉर्क वक्र स्क्वाट आंदोलन के दौरान कूल्हे और घुटने के जोड़ों में यांत्रिक मांग के वितरण को दर्शाता है। सनकी चरण नियंत्रित लोडिंग को दर्शाता है क्योंकि संक्रमण बिंदु से पहले टॉर्क बढ़ता है, जबकि संकेंद्रित चरण गुरुत्वाकर्षण भार पर काबू पाने के लिए तेजी से बल उत्पादन को दर्शाता है। प्रतिरोध प्रशिक्षण के दौरान संयुक्त लोडिंग रणनीतियों को समझने के लिए ये टॉर्क-टाइम विशेषताएँ आवश्यक हैं।

ई: विलक्षण और संकेंद्रित चरण (टेम्पो) नियंत्रित विलक्षण चरण (2-4 सेकंड) और उसके बाद विस्फोटक संकेंद्रित चरण शक्ति और शक्ति विकास को अनुकूलित करता है। मानक गति: 3 सेकंड अवतरण, 1 सेकंड आरोहण।

चित्र 5 लिफ्टर के द्रव्यमान केंद्र के सापेक्ष आदर्श बार पथ संरेखण।

बैक स्क्वाट के दौरान बारबेल के इष्टतम ऊर्ध्वाधर प्रक्षेपवक्र को दर्शाने वाला साइड-व्यू योजनाबद्ध। मध्य पैर के लगभग ±3 सेमी के भीतर बार पथ बनाए रखने से अनावश्यक क्षैतिज विस्थापन कम हो जाता है और उठाने की दक्षता में सुधार होता है। इस पथ से विचलन काठ की रीढ़ और निचले छोर के जोड़ों पर यांत्रिक मांग को बढ़ाता है।

एफ: दोष और विफलता मोड

सामान्य विचलनों में काठ का लचीलापन >10° और घुटने का वाल्गस >5° शामिल हैं। वास्तविक समय में सुधार की अनुशंसा की जाती है.

[तालिका या चित्र — मूल अंग्रेज़ी PDF देखें।]

तालिका 4. गलती का पता लगाने की सीमाएँ और सुधारात्मक कार्रवाइयां

चित्र 6 मोशन कैप्चर का उपयोग करके स्क्वाट यांत्रिकी में वास्तविक समय में गलती का पता लगाना।

स्क्वाट निष्पादन के दौरान संयुक्त कोणों में विचलन की पहचान करने वाली बायोमैकेनिकल निगरानी का उदाहरण। टखने, घुटने, कूल्हे और काठ की रीढ़ सहित प्रमुख संयुक्त खंडों का मूल्यांकन वाल्गस पतन या काठ के लचीलेपन जैसी संरेखण त्रुटियों का पता लगाने के लिए किया जाता है। मोशन कैप्चर और जड़त्वीय माप प्रणालियाँ तकनीकी दोषों की तत्काल पहचान और सुधार की अनुमति देती हैं।

जी: पकड़ और टकटकी

ट्रैपेज़ियस पर हाई-बार स्थिति या पोस्टीरियर डेल्टोइड्स पर लो-बार; 0-5° ऊपर की ओर टकटकी के साथ तटस्थ ग्रीवा रीढ़।

चित्र 7 जड़त्वीय माप विश्लेषण के माध्यम से घुटने के वाल्गस का पता लगाना।

आईएमयू-आधारित निगरानी का उपयोग करके स्क्वाट निष्पादन के दौरान घुटने के संरेखण अंतर का दृश्य। बायां चित्रण अत्यधिक घुटने के वाल्गस (6° विचलन) को दर्शाता है, जबकि सही किया गया है

स्थिति बेहतर संरेखण (2° विचलन) दर्शाती है। औसत घुटने के अत्यधिक भार को कम करने और निचले अंगों की स्थिरता में सुधार के लिए घुटने के संरेखण की निगरानी करना महत्वपूर्ण है।

एच: हिप और हिंज मैकेनिक्स

घुटने के टूटने के बाद 0.1-0.15 सेकंड में कूल्हे के टूटने के साथ समन्वित कूल्हे और घुटने का लचीलापन।

[तालिका या चित्र — मूल अंग्रेज़ी PDF देखें।]

तालिका 5. 120 किलोग्राम भार पर अनुशंसित संयुक्त टॉर्क ज्वाइंटपीक टॉर्क (एनएम)हिप160नी130

चित्र 8 लोडेड स्क्वैटिंग के दौरान कूल्हे और घुटने का टॉर्क-टाइम घटता है।

स्क्वाट मूवमेंट चक्र के दौरान कूल्हे और घुटने के जोड़ों पर टॉर्क विकास का चित्रमय प्रतिनिधित्व। पीक हिप टॉर्क आमतौर पर विलक्षण और संकेंद्रित चरणों के बीच संक्रमण के पास होता है, जो पीछे की श्रृंखला पर रखी गई यांत्रिक मांग को दर्शाता है। ये वक्र प्रभावी बल उत्पादन के लिए आवश्यक समन्वित संयुक्त योगदान को दर्शाते हैं।

मैं: इरादा और वैयक्तिकरण

तकनीक को प्रशिक्षण लक्ष्यों के अनुरूप अपनाया जाना चाहिए (शक्ति: 80-90% 1RM; अतिवृद्धि: 60-75% 1RM)।

जे: टखनों और कूल्हों पर संयुक्त-दर-संयुक्त विश्लेषण गतिशीलता; घुटनों और काठ की रीढ़ पर स्थिरता।

120 किलो हिप पर संयुक्त टॉर्क (एनएम)।

घुटना 130

तालिका 6. संयुक्त भूमिकाएँ और विशिष्ट श्रेणियाँ

चित्र 9 संयुक्त-दर-संयुक्त गतिशीलता और स्थिरता मॉडल स्क्वाट यांत्रिकी पर लागू होता है। स्क्वाट पैटर्न में शामिल प्रमुख जोड़ों की कार्यात्मक भूमिकाओं को दर्शाने वाला आरेख। टखने और कूल्हे मुख्य रूप से गतिशीलता में योगदान करते हैं, जबकि घुटने और काठ की रीढ़

भार स्थानांतरण के दौरान स्थिर भूमिका निभाते हैं। इन संयुक्त अंतःक्रियाओं को समझने से आंदोलन की सीमाओं का निदान करने और सुधारात्मक रणनीतियों का मार्गदर्शन करने में सहायता मिलती है।

के: किनेमेटिक्स और काइनेटिक्स

आदर्श बार पथ विचलन ≤3 सेमी; जमीनी प्रतिक्रिया बल 1.6-2.2× शरीर का वजन। पोस्टीरियर बार प्लेसमेंट फ्रंट स्क्वाट के सापेक्ष हिप टॉर्क को बढ़ाता है।

चित्र 10 बैक स्क्वाट के दौरान बारबेल प्रक्षेपवक्र का गतिज विश्लेषण।

स्क्वाट के संकेंद्रित चरण के दौरान बार वेग, बिजली उत्पादन और यांत्रिक कार्य को दर्शाने वाला ग्राफ़। यह आंकड़ा दर्शाता है कि लिफ्ट के दौरान अधिकतम बिजली उत्पादन निर्धारित करने के लिए बल उत्पादन और वेग कैसे परस्पर क्रिया करते हैं। इन चरों की निगरानी से प्रशिक्षण की तीव्रता और यांत्रिक दक्षता को अनुकूलित करने में मदद मिलती है।

एल: लम्बर मैकेनिक्स और लीवर आर्म्स

पैरामीटर

काठ की रीढ़ की अखंडता और बाहरी क्षणबाहें।

स्वर्ण-मानक सिद्धांत

ट्रंक झुकाव को नियंत्रित करते हुए सहनीय शारीरिक सीमाओं (≈ <600 एन) के भीतर काठ कतरनी बल बनाए रखें।

फ्रंट-लोडेड स्क्वाट विविधताओं की तुलना में बैक स्क्वाट बारबेल और लुंबोसैक्रल जोड़ के बीच अपेक्षाकृत लंबी बाहरी गति पैदा करता है। यह कॉन्फ़िगरेशन काठ की रीढ़ पर टॉर्क की मांग को बढ़ाता है और रीढ़ की हड्डी के संरेखण को बनाए रखने और कतरनी बलों को नियंत्रित करने के लिए ट्रंक स्टेबलाइजर्स के समन्वित सक्रियण की आवश्यकता होती है। इसलिए उच्च भार वाले स्क्वैटिंग के दौरान अत्यधिक पूर्वकाल कतरनी और रीढ़ की हड्डी के लचीलेपन को रोकने के लिए उचित ट्रंक कठोरता और कूल्हे का योगदान आवश्यक है। एंथ्रोपोमेट्री और बार की स्थिति के आधार पर, बैक स्क्वाट में लीवर आर्म की दूरी आमतौर पर 0.30–0.40 मीटर तक होती है।

फोर्स-मॉडल अनुमान 0.35 मीटर मोमेंट आर्म के साथ 500 एन लम्बर शीयर की पहचान करता है, जो ट्रंक झुकाव और बार पथ संरेखण में सुधारात्मक समायोजन को प्रेरित करता है।

एम: मांसपेशियों का योगदान

पैरामीटर

एगोनिस्ट, सिनर्जिस्ट और मांसपेशियों को स्थिर करने की कार्यात्मक भूमिकाएँ। स्वर्ण-मानक सिद्धांत: प्राइम मूवर्स और स्टेबलाइजर्स में समन्वित और संतुलित न्यूरोमस्कुलर सक्रियण।

बैक स्क्वाट के लिए एक साथ ट्रंक स्थिरीकरण के साथ कूल्हे और घुटने के एक्सटेंसर के एकीकृत सक्रियण की आवश्यकता होती है। ग्लूटस मैक्सिमस और क्वाड्रिसेप्स फेमोरिस प्राथमिक बल जनरेटर के रूप में कार्य करते हैं, जबकि हैमस्ट्रिंग और स्पाइनल स्टेबलाइजर्स संयुक्त स्थिरीकरण और पीछे की गतिज श्रृंखला के माध्यम से बल संचरण में योगदान करते हैं। इलेक्ट्रोमोग्राफिक अध्ययन आमतौर पर नियंत्रित

स्क्वाटिंग कार्यों के दौरान ग्लूट्स (~45% एमवीसी), क्वाड्रिसेप्स (~40% एमवीसी), हैमस्ट्रिंग (~35% एमवीसी), और ट्रंक स्टेबलाइजर्स (~30% एमवीसी) के सक्रियण स्तर की रिपोर्ट करते हैं।

सरफेस ईएमजी मॉनिटरिंग 43% ग्लूटल सक्रियण का पता लगाती है, जो कूल्हे के योगदान में थोड़ी कमी का संकेत देती है और पश्च श्रृंखला जुड़ाव में सुधार करने के लिए संकेत देती है।

एन: न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण

पैरामीटर

बढ़ते भार और थकान के कारण स्थिरता और गति में निरंतरता। स्वर्ण-मानक सिद्धांत: न्यूनतम विचलन (संयुक्त विचरण <5°) के साथ गतिज स्थिरता बनाए रखें।

न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण थकान या भार बढ़ने के बावजूद समन्वित गति पैटर्न को बनाए रखने के लिए केंद्रीय तंत्रिका तंत्र की क्षमता को दर्शाता है। बैक स्क्वाट के दौरान, स्थिर संयुक्त प्रक्षेपवक्र और लगातार अंग संरेखण प्रभावी मोटर नियंत्रण और सेंसरिमोटर एकीकरण का संकेत देते हैं। अत्यधिक परिवर्तनशीलता थकान से संबंधित समन्वय हानि या क्षतिपूर्ति रणनीतियों का संकेत दे सकती है।

एक जड़त्वीय माप इकाई (आईएमयू) 12 पुनरावृत्तियों में 3° घुटने-ट्रैकिंग भिन्नता को रिकॉर्ड करती है, जो सेट के दौरान स्थिर न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण का संकेत देती है।

ओ: उद्देश्य मापन

पैरामीटर

गति विश्लेषण प्रणालियों का उपयोग करके मात्रात्मक बायोमैकेनिकल मूल्यांकन। स्वर्ण-मानक सिद्धांत: संचलन की गुणवत्ता और यांत्रिक लोडिंग को मापने के लिए वस्तुनिष्ठ माप प्रौद्योगिकियों का उपयोग करें।

मोशन कैप्चर सिस्टम, फ़ोर्स प्लेटफ़ॉर्म और इलेक्ट्रोमायोग्राफी का उपयोग करके स्क्वाट के बायोमैकेनिकल मूल्यांकन को बढ़ाया जा सकता है। ये प्रौद्योगिकियाँ संयुक्त कीनेमेटिक्स, जमीनी-प्रतिक्रिया बलों और मांसपेशी सक्रियण पैटर्न के संबंध में मात्रात्मक जानकारी प्रदान करती हैं। व्यापक रूप से उपयोग किए जाने वाले सिस्टम में 3-डी मोशन कैप्चर प्लेटफॉर्म (जैसे, विकॉन), फोर्स प्लेट्स (जैसे, किस्टलर), और सतह ईएमजी शामिल हैं, जो एक साथ व्यापक बायोमैकेनिकल प्रोफाइलिंग को सक्षम करते हैं।

मोशन कैप्चर विश्लेषण 2° हिप रोटेशन विचलन का पता लगाता है, जिससे सममित गति यांत्रिकी को बहाल करने के लिए तत्काल सुधार की अनुमति मिलती है।

पी: गति के तल

पैरामीटर

ललाट और अनुप्रस्थ समतल विचलन के नियंत्रण के साथ प्रमुख धनु समतल गति। स्वर्ण-मानक सिद्धांत: बारबेल के पार्श्व या घूर्णी विस्थापन को <3 सेमी तक सीमित करें।

हालाँकि स्क्वाट मुख्य रूप से एक धनु-तल आंदोलन है, प्रभावी प्रदर्शन के लिए तीनों शारीरिक स्तरों पर स्थिरीकरण की आवश्यकता होती है। ललाट या अनुप्रस्थ तल में अत्यधिक गति अपर्याप्त कूल्हे की स्थिरता, असममित लोडिंग या न्यूरोमस्कुलर असंतुलन का संकेत दे सकती है।

एक संकीर्ण मध्यपार्श्व सीमा के भीतर एक स्थिर बार पथ बनाए रखने से यांत्रिक दक्षता को संरक्षित करने और अनावश्यक संयुक्त तनाव को कम करने में मदद मिलती है।

मोशन कैप्चर 2 सेमी पार्श्व बार विस्थापन का पता लगाता है, जिससे पैर के दबाव वितरण और कूल्हे के स्थिरीकरण में समायोजन होता है।

चित्र X. बैक स्क्वाट के दौरान मल्टी-प्लानर नियंत्रण विश्लेषण न्यूनतम फ्रंटल-प्लेन विचलन (<3 सेमी) के साथ धनु प्रभुत्व को दर्शाता है।

प्रश्न: पुनरावृत्ति की गुणवत्ता

पैरामीटर

बार-बार दोहराव के दौरान आंदोलन निष्पादन की निरंतरता। स्वर्ण-मानक सिद्धांत: <5° भिन्नता के साथ स्क्वाट गहराई और संयुक्त कोण बनाए रखें।

उच्च गुणवत्ता वाले दोहराव पूरे सेट में लगातार गहराई, संयुक्त संरेखण और बार प्रक्षेपवक्र प्रदर्शित करते हैं। इन मापदंडों में परिवर्तनशीलता तकनीक में थकान से संबंधित गिरावट या अपर्याप्तता का संकेत दे सकती है

मोटर नियंत्रण. इसलिए यांत्रिक दक्षता बनाए रखने और बार-बार लोडिंग के दौरान चोट के जोखिम को कम करने के लिए पुनरावृत्ति गुणवत्ता की निगरानी करना आवश्यक है।

आईएमयू ट्रैकिंग से दस पुनरावृत्तियों में 4° गहराई का अंतर पता चलता है, जो मध्यम थकान के तहत स्वीकार्य पुनरावृत्ति स्थिरता का संकेत देता है।

आर: श्वसन और अंतर-पेट दबाव पैरामीटर: ट्रंक स्थिरीकरण के लिए श्वास रणनीति।

स्वर्ण-मानक सिद्धांत: रीढ़ की हड्डी की स्थिरता को बढ़ाने के लिए पर्याप्त इंट्रा-पेट दबाव (≈25-35 mmHg) उत्पन्न करें।

प्रभावी श्वसन रणनीति लोडेड स्क्वैटिंग के दौरान धड़ की कठोरता और रीढ़ की हड्डी को स्थिर करने में योगदान देती है। वलसाल्वा पैंतरेबाज़ी, जिसमें पेट की मजबूती के बाद गहरी साँस लेना शामिल है, पेट के अंदर दबाव बढ़ाता है और धड़ की कठोरता को बढ़ाकर रीढ़ की हड्डी के समर्थन को बढ़ाता है। इसलिए नियंत्रित श्वास समय सुरक्षित भार प्रबंधन का एक महत्वपूर्ण घटक है।

दबाव की निगरानी 28 एमएमएचजी अंतर-पेट के दबाव को इंगित करती है, जो लिफ्ट के दौरान प्रभावी ट्रंक ब्रेसिंग का सुझाव देती है।

एस: स्कैपुलर स्थिति

पैरामीटर

बारबेल को स्थिर करने के लिए स्कैपुलर रिट्रैक्शन और ऊंचाई।

स्वर्ण-मानक सिद्धांत: एक स्थिर बार समर्थन बनाने के लिए स्कैपुलर रिट्रैक्शन (≈10–15°) बनाए रखें।

स्कैपुलर की उचित स्थिति बैक स्क्वाट के दौरान ऊपरी पीठ की स्थिरता और सुरक्षित बार प्लेसमेंट में योगदान करती है। स्कैपुला का पीछे हटना और हल्का उत्थान ट्रेपेज़ियस मांसलता द्वारा गठित एक स्थिर "बार शेल्फ" बनाता है, जो बार विस्थापन को कम करता है और ऊपरी वक्ष क्षेत्र में भार वितरण में सुधार करता है।

मोशन कैप्चर 13° स्कैपुलर रिट्रैक्शन का पता लगाता है, जो लिफ्ट के दौरान पर्याप्त ऊपरी-पीठ स्थिरता की पुष्टि करता है।

टी: टोक़

पैरामीटर

कूल्हे और घुटने पर संयुक्त टॉर्क उत्पन्न होता है।

स्वर्ण-मानक सिद्धांत: नियंत्रित यांत्रिक सीमाओं के भीतर टॉर्क उत्पादन बनाए रखें।

संयुक्त टॉर्क स्क्वाट के आरोहण चरण के दौरान कूल्हे और घुटने को फैलाने के लिए आवश्यक घूर्णी बलों को दर्शाता है। यांत्रिक विश्लेषण आमतौर पर भार परिमाण और एंथ्रोपोमेट्री के आधार पर, कूल्हे पर लगभग 160 एनएम और घुटने पर 130 एनएम के चरम टॉर्क का अनुमान लगाते हैं। जोड़ों के बीच कुशल टॉर्क वितरण संतुलित बल उत्पादन और स्थानीयकृत अधिभार को कम करने में योगदान देता है।

फोर्स-प्लेट विश्लेषण का अनुमान 155 एनएम हिप टॉर्क है, जो लिफ्ट के दौरान लगभग इष्टतम बल उत्पादन का संकेत देता है।

यू: एकतरफा विचार

पैरामीटर

द्विपक्षीय समरूपता और एकतरफा आंदोलन पैटर्न के लिए निहितार्थ। स्वर्ण-मानक सिद्धांत: <10% विचरण के साथ द्विपक्षीय बल समरूपता बनाए रखें।

हालाँकि बैक स्क्वाट एक द्विपक्षीय व्यायाम है, शक्ति असंतुलन या गतिशीलता प्रतिबंधों के कारण अंगों के बीच असममित भार हो सकता है। द्विपक्षीय समरूपता की निगरानी से एकतरफा कमियों की पहचान करने में मदद मिल सकती है जो आंदोलन दक्षता को प्रभावित कर सकती हैं या चोट के जोखिम को बढ़ा सकती हैं।

आईएमयू-व्युत्पन्न बल अनुमान अंगों के बीच 7% विषमता की पहचान करता है, जो स्वीकार्य द्विपक्षीय समरूपता का सुझाव देता है।

V: Valgus and Varus Stress

पैरामीटर

अवतरण और आरोहण चरण के दौरान घुटने का संरेखण।

स्वर्ण-मानक सिद्धांत: <5° के भीतर फ्रंटल-प्लेन घुटने के विचलन को बनाए रखें।

बैठने के दौरान घुटने के वाल्गस या वेरस की अत्यधिक गति कूल्हे के स्थिरीकरण, न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण या निचले अंगों के संरेखण में कमी को दर्शा सकती है। पैर पर नियंत्रित घुटने की ट्रैकिंग बनाए रखने से जोड़ों के भार को प्रभावी ढंग से वितरित करने और निचले अंगों की यांत्रिकी को संरक्षित करने में मदद मिलती है।

आईएमयू विश्लेषण 6° घुटने के वाल्गस का पता लगाता है, जिसे हिप अपहरणकर्ता जुड़ाव में सुधार करने के लिए संकेत के माध्यम से 2° तक ठीक किया जाता है।

डब्ल्यू: कार्य और शक्ति

पैरामीटर

लिफ्ट के दौरान यांत्रिक कार्य और बिजली उत्पादन।

स्वर्ण-मानक सिद्धांत: लोड और गति वेग के सापेक्ष यांत्रिक आउटपुट को अनुकूलित करें।

यांत्रिक कार्य बल और विस्थापन के उत्पाद को दर्शाता है, जबकि शक्ति उस दर को दर्शाती है जिस पर यह कार्य किया जाता है। लोडेड स्क्वैटिंग के दौरान, सामान्य यांत्रिक कार्य मान 600-800 J तक हो सकते हैं, जिसमें पावर आउटपुट लगभग ≈300 W होता है, जो भार और गति वेग पर निर्भर करता है। इन मापदंडों की निगरानी से प्रदर्शन दक्षता और प्रशिक्षण की तीव्रता के बारे में जानकारी मिलती है।

फोर्स-प्लेट गणना में 110 किलोग्राम भार उठाने के दौरान 700 J कार्य और 280 W शक्ति का अनुमान लगाया गया है।

एक्स: प्रासंगिक प्रशिक्षण अनुप्रयोग

पैरामीटर

प्रशिक्षण उद्देश्यों के लिए स्क्वाट यांत्रिकी का अनुकूलन।

स्वर्ण-मानक सिद्धांत: प्रशिक्षण लक्ष्यों के अनुसार लोडिंग मापदंडों को समायोजित करें।

स्क्वाट की यांत्रिक मांगें इस पर निर्भर करते हुए भिन्न हो सकती हैं कि व्यायाम का उपयोग अधिकतम शक्ति विकास, पुनर्वास या सामान्य कंडीशनिंग के लिए किया जाता है या नहीं। भार की तीव्रता, पुनरावृत्ति योजनाओं और गति का उचित संशोधन बायोमैकेनिकल अखंडता को बनाए रखते हुए आंदोलन को विभिन्न प्रशिक्षण संदर्भों में अनुकूलित करने की अनुमति देता है।

प्रशिक्षण भार को अधिकतम एक-पुनरावृत्ति के 80% तक समायोजित किया जाता है, मोशन सेंसर पूरे सेट में स्थिर तकनीक की पुष्टि करते हैं।

Y: उपज चरण (विलक्षण नियंत्रण) पैरामीटर: नियंत्रित विलक्षण वंश।

स्वर्ण-मानक सिद्धांत: लगभग 3 सेकंड का नियंत्रित विलक्षण चरण बनाए रखें।

स्क्वाट का विलक्षण चरण मांसपेशियों के बल के विकास और संयोजी ऊतकों की यांत्रिक लोडिंग में महत्वपूर्ण योगदान देता है। नियंत्रित वंश लोचदार ऊर्जा के प्रभावी भंडारण की अनुमति देता है और बाद के संकेंद्रित चरण के लिए न्यूरोमस्कुलर प्रणाली को तैयार करता है।

आईएमयू ट्रैकिंग 3.2-सेकंड वंश को रिकॉर्ड करती है, जिसे लक्ष्य 3-सेकंड विलक्षण चरण में परिष्कृत किया जाता है।

जेड: जेनिथ (शीर्ष स्थान) पैरामीटर: याचिका के पूरा होने पर पूर्ण विस्तार।

स्वर्ण-मानक सिद्धांत: लिफ्ट के शीर्ष पर पूर्ण कूल्हे और घुटने का विस्तार (≈180°) प्राप्त करें।

स्क्वाट के अंतिम चरण में पुनरावृत्ति को अंतिम रूप देने और गति की निरंतर सीमा सुनिश्चित करने के लिए कूल्हे और घुटने के जोड़ों के पूर्ण विस्तार की आवश्यकता होती है। अधूरा विस्तार प्रशिक्षण प्रभावशीलता को कम कर सकता है और पुनरावृत्ति मानकीकरण से समझौता कर सकता है।

आईएमयू विश्लेषण 178° संयुक्त विस्तार की पुष्टि करता है, जिससे पूर्ण तालाबंदी प्राप्त करने के लिए थोड़ा समायोजन किया जाता है।

[तालिका या चित्र — मूल अंग्रेज़ी PDF देखें।]

तालिका 7. मांसपेशी सक्रियण सारांश (% एमवीसी) सेंसर प्रकार

[तालिका या चित्र — मूल अंग्रेज़ी PDF देखें।]

चित्रा

गणितीय और वास्तविक समय एकीकरण मॉडल

चित्र 11 मल्टी-सेंसर विश्लेषण का उपयोग करके एकीकृत बायोमैकेनिकल निगरानी।

स्क्वाट प्रदर्शन का मूल्यांकन करने के लिए जड़त्वीय माप इकाइयों (आईएमयू), बल प्लेटों और सतह इलेक्ट्रोमायोग्राफी (ईएमजी) का संयुक्त प्रतिनिधित्व किया जाता है। ये उपकरण लोड के दौरान संयुक्त कोणों, जमीनी प्रतिक्रिया बलों और मांसपेशी सक्रियण पैटर्न की वास्तविक समय पर नज़र रखने में सक्षम बनाते हैं

आंदोलन। एकाधिक सेंसर प्रणालियों का एकीकरण तकनीक अनुकूलन के लिए व्यापक बायोमैकेनिकल फीडबैक प्रदान करता है।

चर्चा

वर्तमान स्थिति पेपर बारबेल बैक स्क्वाट के लिए एक एकीकृत बायोमैकेनिकल ढांचे का प्रस्ताव करता है जो एंथ्रोपोमेट्रिक परिवर्तनशीलता, संयुक्त यांत्रिकी, न्यूरोमस्कुलर समन्वय और उद्देश्य बायोमैकेनिकल मॉनिटरिंग को जोड़ता है। हालाँकि खेल विज्ञान और बायोमैकेनिक्स साहित्य में स्क्वाट की बड़े पैमाने पर जांच की गई है, अधिकांश पिछले अध्ययनों ने आंदोलन के अलग-अलग घटकों की जांच की है, जिसमें संयुक्त गतिशीलता, मांसपेशी सक्रियण पैटर्न, या स्क्वाट गहराई का प्रभाव शामिल है। इसके विपरीत, वर्तमान कार्य में प्रस्तावित रूपरेखा इन व्यक्तिगत घटकों को छब्बीस बायोमैकेनिकल मापदंडों से बने एक एकीकृत मॉडल में संश्लेषित करने का प्रयास करती है जो सामूहिक रूप से स्क्वाट प्रदर्शन के दौरान आंदोलन यांत्रिकी, तकनीकी स्थिरता और संभावित चोट जोखिम का वर्णन करती है।

एंथ्रोपोमेट्रिक परिवर्तनशीलता स्क्वाट यांत्रिकी का एक मौलिक निर्धारक है। पिछली जांचों से पता चला है कि खंड की लंबाई और शरीर का अनुपात संयुक्त लोडिंग पैटर्न और आंदोलन रणनीतियों को काफी हद तक प्रभावित करता है। एस्कैमिला (2001) और फ्राई एट अल। (2003) ने बताया कि फीमर की लंबाई, टिबिया की लंबाई और धड़ के अनुपात में भिन्नता बैठने के कार्यों के दौरान कूल्हे और घुटने के टॉर्क के वितरण को बदल देती है। इसी तरह, लोरेंजेटी एट अल। (2018) से पता चला कि रुख की चौड़ाई और पैर का उन्मुखीकरण संयुक्त किनेमेटिक्स, ट्रंक झुकाव और बार पथ प्रक्षेपवक्र को प्रभावित करता है। वर्तमान रूपरेखा इन निष्कर्षों को स्पष्ट रूप से एंथ्रोपोमेट्रिक विशेषताओं को तकनीक समायोजन जैसे ट्रंक झुकाव और टखने की डोरसिफ्लेक्सियन आवश्यकताओं से जोड़कर शामिल करती है। यह दृष्टिकोण इस अवधारणा को पुष्ट करता है कि स्क्वाट तकनीक को एक ही आसन के आसपास सार्वभौमिक रूप से मानकीकृत नहीं किया जा सकता है। इसके बजाय, इष्टतम स्क्वाट यांत्रिकी को शारीरिक संरचना और गतिशीलता क्षमता के अनुसार वैयक्तिकृत किया जाना चाहिए। बायोमैकेनिकल अनुसंधान में स्क्वाट के दौरान संयुक्त लोडिंग पैटर्न की भी व्यापक रूप से जांच की गई है। स्क्वाट की गहराई, बारबेल की स्थिति और ट्रंक ओरिएंटेशन संयुक्त क्षणों और संपीड़न बलों को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करते हैं। एस्कैमिला एट अल. (2001) ने प्रदर्शित किया कि कूल्हे और घुटने के जोड़ की लोडिंग स्क्वाट तकनीक के आधार पर काफी भिन्न होती है, जबकि हार्टमैन एट अल। (2013) ने बताया कि उचित तकनीक और नियंत्रण के साथ प्रदर्शन करने पर गहरी स्क्वाट स्थिति चोट के जोखिम को बढ़ाए बिना संयुक्त

क्षण की मांग को बढ़ाती है। वर्तमान पेपर में प्रस्तावित रूपरेखा संयुक्त कोणों और अनुमानित टॉर्क मूल्यों के लिए अनुशंसित सीमाओं को परिभाषित करके इन निष्कर्षों को एकीकृत करती है। ऐसी बायोमैकेनिकल संदर्भ श्रेणियां प्रशिक्षकों, चिकित्सकों और शोधकर्ताओं को तकनीक विचलन की पहचान करने में सहायता कर सकती हैं जो यांत्रिक तनाव को बढ़ा सकती हैं या आंदोलन दक्षता को कम कर सकती हैं।

Muscle activation patterns during the squat have also been well documented. Electromyographic investigations consistently demonstrate coordinated activation of the quadriceps, gluteal muscles, hamstrings, and trunk stabilizers during loaded squatting tasks. Caterisano et al. (2002) reported that deeper squat positions are associated with greater gluteus maximus activation, while Clark et al. (2012) observed that muscle activation varies according to load intensity and barbell placement. The present framework integrates these findings by proposing expected activation ranges for major muscle groups and relating these values to joint mechanics and force production. Establishing such reference values may assist in interpreting EMG data during biomechanical assessments of squat technique.

संयुक्त कीनेमेटिक्स और मांसपेशियों की सक्रियता के अलावा, तकनीकी प्रगति ने जटिल आंदोलनों के तेजी से सटीक बायोमैकेनिकल विश्लेषण को सक्षम किया है। मोशन कैप्चर सिस्टम, जड़त्वीय माप इकाइयां (आईएमयू), और बल प्लेटफार्म गतिशील कार्यों के दौरान संयुक्त कोण, बारबेल प्रक्षेपवक्र और जमीन प्रतिक्रिया बलों की सटीक माप की अनुमति देते हैं। स्पोर्ट्स बायोमैकेनिक्स में हाल के शोध से पता चलता है कि ये प्रौद्योगिकियां सूक्ष्म आंदोलन विचलन का पता लगा सकती हैं जो अकेले अवलोकन प्रशिक्षण के माध्यम से दिखाई नहीं दे सकती हैं। रूपरेखा यहाँ प्रस्तावित है

इसलिए तकनीकी मूल्यांकन के एक महत्वपूर्ण घटक के रूप में वस्तुनिष्ठ माप पर जोर दिया जाता है। बार पथ विचलन, वंश वेग और जमीनी प्रतिक्रिया बल परिमाण जैसे सेंसर-व्युत्पन्न चर को एकीकृत करके, चिकित्सक स्क्वाट यांत्रिकी और आंदोलन दक्षता की अधिक व्यापक समझ प्राप्त कर सकते हैं।

रीढ़ की हड्डी की स्थिरता स्क्वाट बायोमैकेनिक्स के एक और महत्वपूर्ण पहलू का प्रतिनिधित्व करती है। लोडेड स्क्वैटिंग के दौरान काठ की रीढ़ को पर्याप्त संपीड़न और कतरनी बलों के अधीन किया जाता है, खासकर जब ट्रंक झुकाव बढ़ता है या जब बारबेल एक इष्टतम ऊर्ध्वाधर पथ से भटक जाता है। मैकगिल और सहकर्मियों द्वारा की गई पिछली बायोमैकेनिकल जांच से पता चला है कि समन्वित पेट की मजबूती और इंट्रा-पेट के दबाव के माध्यम से उत्पन्न ट्रंक कठोरता भारी उठाने वाले कार्यों के दौरान रीढ़ की हड्डी की स्थिरता में योगदान करती है। वर्तमान ढांचे के भीतर, इंट्रा-पेट दबाव लक्ष्य और काठ संरेखण थ्रेसहोल्ड को रीढ़ की हड्डी की अखंडता को बनाए रखने के लिए प्रमुख मापदंडों के रूप में शामिल किया गया है। ये विचार प्रतिरोध प्रशिक्षण के दौरान ट्रंक स्थिरीकरण रणनीतियों के महत्व पर जोर देते हैं और स्पाइनल लोडिंग के प्रबंधन में न्यूरोमस्कुलर समन्वय की भूमिका पर प्रकाश डालते हैं।

प्रस्तावित ढांचे के वैचारिक मूल्य के बावजूद, कई सीमाओं को स्वीकार किया जाना चाहिए। सबसे पहले, मॉडल एकल प्रयोगात्मक जांच के परिणामों के बजाय पहले प्रकाशित बायोमैकेनिकल साक्ष्य के संश्लेषण का प्रतिनिधित्व करता है। यद्यपि फ्रेमवर्क में सुझाई गई पैरामीटर श्रेणियां मौजूदा साहित्य द्वारा समर्थित हैं, उन्हें सभी आबादी पर लागू सार्वभौमिक सीमाओं के बजाय अनुमानित संदर्भ मूल्यों के रूप में व्याख्या की जानी चाहिए। गतिशीलता, प्रशिक्षण अनुभव, चोट का इतिहास और न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण में व्यक्तिगत अंतर स्क्वाट के इष्टतम निष्पादन को प्रभावित कर सकता है। दूसरा, फ्रेमवर्क मोशन कैप्चर सिस्टम, आईएमयू, या फोर्स प्लेट्स जैसी बायोमैकेनिकल माप प्रौद्योगिकियों तक पहुंच मानता है। हालाँकि ये उपकरण खेल विज्ञान प्रयोगशालाओं और उच्च-प्रदर्शन प्रशिक्षण वातावरण में तेजी से उपलब्ध हैं, फिर भी कई कोचिंग या नैदानिक संदर्भों में उनकी पहुंच अभी भी सीमित हो सकती है। इसलिए भविष्य के काम में सरलीकृत क्षेत्र-आधारित मूल्यांकन रणनीतियों का पता लगाना चाहिए जो व्यावहारिक अवलोकन या वीडियो-आधारित तरीकों का उपयोग करके इस ढांचे में

वर्णित बायोमैकेनिकल चर का अनुमान लगाते हैं। अंत में, प्रस्तावित बायोमैकेनिकल मापदंडों के पूर्वानुमानित मूल्य को मान्य करने के लिए आगे प्रयोगात्मक अनुसंधान की आवश्यकता है। स्क्वाट यांत्रिकी, चोट के जोखिम और ताकत के विकास के बीच संबंधों की जांच करने वाले अनुदैर्ध्य अध्ययन यह निर्धारित करने में मदद करेंगे कि क्या इन बायोमैकेनिकल मानदंडों के पालन से प्रदर्शन और सुरक्षा दोनों में सुधार होता है। इसके अतिरिक्त, विभिन्न स्क्वाट तकनीकों, प्रशिक्षण कार्यक्रमों या कोचिंग हस्तक्षेपों की जांच करने वाले तुलनात्मक अध्ययन इस मॉडल में सुझाई गई पैरामीटर श्रेणियों को और अधिक परिष्कृत कर सकते हैं।

इसलिए भविष्य के अनुसंधान को व्यक्तिगत प्रशिक्षण नुस्खों के साथ बायोमैकेनिकल निगरानी प्रौद्योगिकियों को एकीकृत करने पर ध्यान केंद्रित करना चाहिए। पहनने योग्य सेंसर, मशीन लर्निंग एल्गोरिदम और वास्तविक समय गति विश्लेषण में प्रगति से प्रतिरोध प्रशिक्षण के दौरान आंदोलन विचलन और तत्काल प्रतिक्रिया का स्वचालित पता लगाने की अनुमति मिल सकती है। इस तरह के विकास बायोमैकेनिक्स-सूचित कोचिंग के अनुप्रयोग को महत्वपूर्ण रूप से बढ़ा सकते हैं और एथलेटिक और क्लिनिकल दोनों सेटिंग्स में अधिक सटीक आंदोलन मूल्यांकन में योगदान कर सकते हैं।

निष्कर्ष

बैक स्क्वाट एथलेटिक प्रदर्शन, पुनर्वास और शक्ति विकास में सबसे व्यापक रूप से उपयोग किए जाने वाले प्रतिरोध-प्रशिक्षण अभ्यासों में से एक है। इसके व्यापक उपयोग के बावजूद, तकनीक

निर्देश और बायोमैकेनिकल व्याख्या अक्सर कोचिंग और क्लिनिकल सेटिंग्स में काफी भिन्न होती है। वर्तमान स्थिति पेपर एक व्यापक बायोमैकेनिकल ढांचे का प्रस्ताव करता है जो एंथ्रोपोमेट्रिक विचारों, संयुक्त किनेमेटिक्स, न्यूरोमस्क्यूलर सक्रियण पैटर्न और उद्देश्य सेंसर-व्युत्पन्न माप को स्क्वाट यांत्रिकी के संरचित मॉडल में एकीकृत करता है। छब्बीस बायोमैकेनिकल मापदंडों को एक सुसंगत विश्लेषणात्मक ढांचे में व्यवस्थित करके, यह मॉडल स्क्वाट निष्पादन का मूल्यांकन करने, तकनीकी विचलन की पहचान करने और व्यक्तिगत तकनीक समायोजन का मार्गदर्शन करने के लिए एक व्यवस्थित दृष्टिकोण प्रदान करता है। रूपरेखा एंथ्रोपोमेट्रिक परिवर्तनशीलता, समन्वित संयुक्त यांत्रिकी, नियंत्रित बार पथ प्रक्षेपवक्र और उचित ट्रंक सक्रियण और इंट्रा-पेट दबाव के माध्यम से रीढ़ की हड्डी के स्थिरीकरण के महत्व पर जोर देती है।

आधुनिक बायोमैकेनिकल मॉनिटरिंग तकनीकों का एकीकरण - जिसमें जड़त्वीय माप इकाइयाँ, मोशन कैप्चर सिस्टम, फोर्स प्लेट्स और सतह इलेक्ट्रोमायोग्राफी शामिल हैं - अनुसंधान और व्यावहारिक प्रशिक्षण वातावरण दोनों में स्क्वाट यांत्रिकी के वस्तुनिष्ठ मूल्यांकन के लिए नए अवसर प्रदान करता है। जब व्यक्तिगत तकनीक संशोधनों के साथ जोड़ा जाता है, तो ये उपकरण आंदोलन की स्थिरता में सुधार कर सकते हैं, प्रदर्शन परिणामों को बढ़ा सकते हैं और प्रतिरोध प्रशिक्षण के दौरान यांत्रिक अधिभार के जोखिम को कम कर सकते हैं। यद्यपि रूपरेखा वर्तमान बायोमैकेनिकल ज्ञान को संश्लेषित करती है, विभिन्न आबादी और प्रशिक्षण संदर्भों में प्रस्तावित पैरामीटर श्रेणियों के पूर्वानुमानित मूल्य को मान्य करने के लिए आगे अनुभवजन्य अनुसंधान की आवश्यकता होती है। पहनने योग्य सेंसर प्रौद्योगिकियों और अनुदैर्ध्य प्रदर्शन निगरानी को एकीकृत करने वाली भविष्य की जांच स्क्वाट बायोमैकेनिक्स, चोट जोखिम और ताकत विकास के बीच संबंधों में गहरी अंतर्दृष्टि प्रदान कर सकती है। संक्षेप में, प्रस्तावित बायोमैकेनिकल ढांचा शोधकर्ताओं, चिकित्सकों और ताकत और कंडीशनिंग पेशेवरों के लिए एक एकीकृत संदर्भ मॉडल प्रदान करता है जो बैक स्क्वाट के मूल्यांकन और निर्देश में सुधार करना चाहते हैं। मानकीकृत बायोमैकेनिकल मापदंडों को अपनाने से अधिक सुसंगत कोचिंग प्रथाओं में योगदान हो सकता है और साक्ष्य-आधारित आंदोलन यांत्रिकी की निरंतर प्रगति का समर्थन हो सकता है।

संदर्भ

संदर्भ मूल अंग्रेज़ी में यथावत दिए गए हैं।

1. Escamilla, R. F. (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise.Medicine & Science in Sports & Exercise, 33(1), 127–141.
2. Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Zheng, N., Barrentine, S. W., Wilk, K. E., & Andrews, J. R. (2001). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises.Medicine & Science in Sports & Exercise, 33(4), 556–569.
3. Swinton, P. A., Lloyd, R., Keogh, J. W., Agouris, I., & Stewart, A. D. (2012). A biomechanical comparison of the traditional squat, powerlifting squat, and box squat. Journal of Strength and Conditioning Research, 26(7), 1805–1816.
4. Schoenfeld, B. J. (2010). Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance.Journal of Strength and ConditioningResearch, 24(12), 3497–3506.
5. Fry, A. C., Smith, J. C., & Schilling, B. K. (2003). Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat.Journal of Strengthand Conditioning Research, 17(4), 629–633.
6. Hartmann, H., Wirth, K., & Klusemann, M. (2013). Analysis of the load on the knee joint and vertebral column with changes in squatting depth and weight load.Sports Medicine, 43(10), 993–1008.
7. Caterisano, A., Moss, R. F., Pellinger, T. K., Woodruff, K., Lewis, V. C., Booth, W., & Khadra, T. (2002). The effect of back squat depth on the EMG activity of the gluteus maximus and quadriceps.Journal of Strength and ConditioningResearch, 16(3), 428–432.
8. Bryanton, M. A., Kennedy, M. D., Carey, J. P., & Chiu, L. Z. (2012). Effect of squat depth and barbell load on relative muscular effort in squatting.Journal of Strength and Conditioning Research, 26(10), 2820–2828.
9. Hales, M. E., Johnson, B. F., & Johnson, J. T. (2009). Kinematic analysis of the powerlifting style squat and the conventional deadlift during competition.Journal of Strength and Conditioning Research, 23(9), 2578–2585.
10. McGill, S. M. (2007).Low Back Disorders: Evidence-Based Prevention and Rehabilitation. Human Kinetics.
11. McGill, S. M., Norman, R. W., & Cholewicki, J. (1996). A simple polynomial that predicts low-back compression during complex three-dimensional tasks.Ergonomics, 39(9), 1107–1118.
12. Cholewicki, J., & McGill, S. M. (1996). Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain.Clinical Biomechanics, 11(1), 1–15.
13. Glassbrook, D. J., Helms, E. R., Brown, S. R., & Storey, A. G. (2017). A review of the biomechanical differences between the high-bar and low-bar back squat.Journal of Strength and Conditioning Research, 31(9), 2618–2634.
14. Gullett, J. C., Tillman, M. D., Gutierrez, G. M., & Chow, J. W. (2009). A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals.Journal of Strength and Conditioning Research, 23(1), 284–292.
15. Lorenzetti, S., Ostermann, M., Zeidler, F., Zimmer, P., Jentsch, L., List, R., Taylor, W. R., & Schellenberg, F. (2018). How to squat? Effects of various stance widths, foot placement angles and level of experience on knee, hip and trunk motion.BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 10(1), 14.
16. Kritz, M., Cronin, J., & Hume, P. (2009). The bodyweight squat: A movement screen for the squat pattern.Strength & Conditioning Journal,31(1), 76–85.
17. Myer, G. D., Kushner, A. M., Brent, J. L., Schoenfeld, B. J., Hugentobler, J., Lloyd, R. S., Vermeil, A., Chu, D., Harbin, J., McGill, S. M., & Kraemer, W. J. (2014). The back squat: A proposed assessment of functional deficits and

technical factors that limit performance.Strength & Conditioning Journal, 36(6), 4–27.

18. Nuzzo, J. L., McCaulley, G. O., Cormie, P., Cavill, M. J., & McBride, J. M. (2008). Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength.Journal of Strength andConditioning Research, 22(3), 699–707.
19. Stone, M. H., O'Bryant, H. S., & Garhammer, J. (1981). A hypothetical model for strength training.Journal of Sports Medicine and PhysicalFitness, 21, 342–351.
20. Stone, M. H., Stone, M. E., & Sands, W. A. (2007).Principles and Practice of Resistance Training. Human Kinetics.
21. Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance.Sports Medicine,46(10), 1419–1449.
22. Comfort, P., McMahon, J. J., & Suchomel, T. J. (2018). Optimizing squat performance: Biomechanical considerations.Strength & ConditioningJournal, 40(6), 68–79.
23. Robertson, D. G., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2013). Research Methods in Biomechanics. Human Kinetics.
24. Winter, D. A. (2009).Biomechanics and Motor Control of Human Movement. Wiley.
25. Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006).Science and Practice of Strength Training. Human Kinetics.
26. Enoka, R. M. (2008).Neuromechanics of Human Movement. Human Kinetics.
27. McBride, J. M., Blow, D., Kirby, T. J., Haines, T. L., Dayne, A. M., & Triplett, N. T. (2009). Relationship between maximal squat strength and sprint performance.Journal of Strength and Conditioning Research, 23(6), 1633–1636.
28. Wretenberg, P., Feng, Y., & Arborelius, U. (1996). High- and low-bar squatting techniques during weight-training.Medicine & Sciencein Sports & Exercise, 28(2), 218–224.
29. Sinclair, J., Taylor, P. J., & Hobbs, S. J. (2015). The influence of different squat techniques on lower extremity joint loading.SportsBiomechanics, 14(3), 309–320.
30. Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Vigotsky, A., Ogborn, D., Fontana, F., & Tiryaki-Sonmez, G. (2016). Differential effects of heavy versus moderate loads on measures of strength and hypertrophy.Journal of Strength and Conditioning Research, 30(7), 1801–1807.
31. McKean, M. R., Dunn, P. K., & Burkett, B. J. (2010). The lumbar and sacrum movement pattern during the back squat exercise.Journal ofStrength and Conditioning Research, 24(10), 2731–2741.
32. Clark, D. R., Lambert, M. I., & Hunter, A. M. (2012). Muscle activation in the loaded free barbell squat.Journal of Strength and ConditioningResearch, 26(5), 1169–1178.
33. Chiu, L. Z., & Schilling, B. K. (2005). A primer on weightlifting: From sport to sports training.Strength & Conditioning Journal, 27(1),42–48.
34. Brown, S. R., Helms, E. R., & Storey, A. G. (2019). The biomechanics of the squat exercise: Implications for performance and injury prevention.Strength & Conditioning Journal, 41(2), 1–13.
35. Vigotsky, A. D., Halperin, I., Lehman, G. J., Trajano, G. S., & Vieira, T. M. (2018). Interpreting signal amplitudes in surface electromyography studies in sport and rehabilitation sciences.Frontiers in Physiology, 8, 985.

उद्धरण

कृपया मूल अंग्रेज़ी लेख का हवाला दें:

Mehta, N., Henderson, S., & Spetan, H. (2026). Integrated Biomechanical Framework for the Barbell Back Squat: A 26-Parameter Model for Technique Standardization and Injury Risk Reduction. *Journal of Movement Mechanics & Biomechanics Science*, *3*(1). https://doi.org/10.66078/jmmbs.v3i1.007

JMMBS — Journal of Movement Mechanics & Biomechanics Science · ISSN 3070-3662 (ऑनलाइन)
प्रकाशक: MMSx Authority Institute for Movement Mechanics & Biomechanics Research

हिन्दी मुखपृष्ठ · संग्रह · सहकर्मी समीक्षा प्रक्रिया · सुधार और वापसी · English