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

हिन्दी अनुवाद · Hindi translation of the English original

- यह लेख मूल अंग्रेज़ी लेख "Mismatch Between Physiological Readiness and Biomechanical Load Capacity in Adolescent Athletes" 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.v2i2.002 — 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।

मूल शोध | खुली पहुँच | हिन्दी अनुवाद

किशोर एथलीटों में शारीरिक तत्परता और बायोमैकेनिकल भार क्षमता के बीच बेमेल

मूल अंग्रेज़ी शीर्षक: Mismatch Between Physiological Readiness and Biomechanical Load Capacity in Adolescent Athletes

Christopher Alfiero
Performance Technology Division, Eternal, San Rafael, California, USA

Idara A. Okon
Kampala International University-Western Campus, Uganda

Alireza Fatahian
Department of Nutrition and Movement Sciences (NUTRIM), Maastricht University, Netherlands

Jorge Estañán Martínez
EfiCiencia & i3 Sport, Valencia, Spain

Achouri Imen
University of Sfax, Sfax, Tunisia

Sunita Malhotra
MMSx Authority Institute, USA

Anupama Mahajan
Indian Institute for Kinesiology & Biomechanics Research

पत्रिका

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

खंड / अंक

खंड 2, अंक 2 · 2026

लेख का प्रकार

मूल शोध (Original Research)

DOI (मूल अंग्रेज़ी लेख)

https://doi.org/10.66078/jmmbs.v2i2.002

मूल लेख प्रकाशित

20 फ़रवरी 2026

प्रकाशक

MMSx Authority Institute for Movement Mechanics & Biomechanics Research

लाइसेंस

CC BY 4.0 (मूल लेख का लाइसेंस)

सार

पृष्ठभूमि

किशोर एथलीट अक्सर बायोमैकेनिकल भार सहनशीलता की परिपक्वता के बिना शारीरिक तत्परता-जैसे ताकत और शक्ति-में तेजी से सुधार प्रदर्शित करते हैं। यह अध्ययन आंतरिक तत्परता मार्करों और बाहरी यांत्रिक क्षमता के बीच बेमेल की जांच करता है।

तरीके

हमने उच्च प्रभाव वाले खेलों में शामिल 32 किशोर एथलीटों (18 पुरुष, 14 महिला; उम्र 12-17) का 18 महीने का अनुदैर्ध्य अध्ययन किया। ग्रोथ मेट्रिक्स, जंप-लैंडिंग कार्यों से बल-समय चर, आंदोलन परिवर्तनशीलता और चोट की घटनाओं सहित एकीकृत डेटासेट का उपयोग करके, हमने एक उपन्यास "तत्परता-क्षमता बेमेल सूचकांक" की गणना की।

परिणाम

चोट का जोखिम उन अवधियों के दौरान चरम पर था जब शारीरिक आउटपुट न्यूरोमस्कुलर समन्वय और यांत्रिक भार क्षीणन क्षमता से काफी आगे निकल गए, विशेष रूप से तेजी से विकास के चरणों के दौरान, विशेष रूप से तेजी से विकास के दौरान। बेमेल सूचकांक उन एथलीटों में काफी अधिक था, जिन्हें चोट लगी थी, उन लोगों की तुलना में जिन्हें चोट नहीं लगी थी (पी <.001)। पारंपरिक, फिजियोलॉजी-आधारित फिटनेस परीक्षणों द्वारा उत्तीर्ण एथलीटों का एक महत्वपूर्ण हिस्सा (16.4%) बायोमैकेनिकल तत्परता मानदंडों को पूरा करने में विफल रहा; इस असंगत समूह में चोट की दर 48% थी, जबकि सुसंगत समूह में 31% थी।

निष्कर्ष

ये परिणाम पारंपरिक रिटर्न-टू-प्ले और प्रगति मॉडल को चुनौती देते हैं जो शारीरिक पर बहुत अधिक निर्भर करते हैं

बेंचमार्क. अध्ययन किशोरावस्था की महत्वपूर्ण विकासात्मक अवधि के दौरान भार से संबंधित चोटों को रोकने के लिए बायोमैकेनिकल-सूचित तत्परता स्क्रीनिंग के एकीकरण की वकालत करता है।

परिचय

किशोर एथलीट एक अद्वितीय और कमजोर आबादी का प्रतिनिधित्व करता है। इस अवधि को किशोर विकास वृद्धि (एजीएस) की विशेषता है, जो शरीर के आकार, संरचना और कार्य में तीव्र, गैर-रैखिक परिवर्तनों का चरण है [1]। जबकि इस दौरान एथलीट स्पष्ट रूप से मजबूत, तेज़ और अधिक शक्तिशाली हो जाते हैं, ये शारीरिक लाभ एथलेटिक परिपक्वता का खतरनाक भ्रम पैदा कर सकते हैं। अंतर्निहित मस्कुलोस्केलेटल प्रणाली - हड्डियाँ, टेंडन और न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण मार्ग - अक्सर पीछे रह जाते हैं, जिसके परिणामस्वरूप एक एथलीट की बल उत्पन्न करने की क्षमता और इसे सहन करने और नियंत्रित करने की उनकी क्षमता के बीच एक गंभीर बेमेल हो जाता है [2, 3]। यह बेमेल युवा खेलों में देखी जाने वाली अत्यधिक उपयोग और गैर-संपर्क चोटों की उच्च घटनाओं का प्राथमिक चालक है।

एजीएस के दौरान, लंबी हड्डियां तेजी से बढ़ती हैं, जिससे अंगों के समन्वय में अस्थायी व्यवधान होता है और सापेक्ष शक्ति में कमी आती है क्योंकि मांसपेशियां और टेंडन गति बनाए रखने के लिए संघर्ष करते हैं [4]। यह घटना, जिसे अक्सर "विकासात्मक डिस्प्रैक्सिया" कहा जाता है, परिवर्तित गति पैटर्न के रूप में प्रकट हो सकती है, जैसे कि लैंडिंग के दौरान घुटने के वाल्गस में वृद्धि, जो पूर्वकाल क्रूसिएट लिगामेंट (एसीएल) की चोट के लिए एक अच्छी तरह से स्थापित जोखिम कारक है [5, 6]। ग्रोथ प्लेट्स (फिजिस) आसपास की हड्डी की तुलना में कार्टिलाजिनस और यांत्रिक रूप से कमजोर होती हैं, जिससे वे बार-बार लोड होने से चोट लगने के लिए विशेष रूप से संवेदनशील हो जाती हैं, जिससे ऑसगूड-श्लैटर रोग या सेवर रोग जैसी स्थितियां पैदा होती हैं [7]। इस ज्ञान के बावजूद, किशोरों में एथलेटिक प्रगति और खेल में वापसी के निर्णयों के लिए मानक प्रथाएं शारीरिक मानदंडों पर बहुत अधिक निर्भर रहती हैं। एक एथलीट को एक निश्चित स्तर की ताकत हासिल करने, हॉप परीक्षणों की बैटरी पास करने, या पर्याप्त कार्डियोवैस्कुलर फिटनेस का प्रदर्शन करने के आधार पर खेलने के लिए मंजूरी दी जा सकती है [8]। हालांकि ये मार्कर महत्वपूर्ण हैं, लेकिन ये एथलीट की बायोमैकेनिकल तैयारी को पकड़ने में विफल रहते हैं। वे हमें यह नहीं बताते कि क्या एथलीट लैंडिंग बलों को सुरक्षित रूप से कम कर सकता है, थकान के तहत गतिशील संयुक्त स्थिरता बनाए रख सकता है, या खेल के अराजक वातावरण के अनुकूल होने के लिए आवश्यक आंदोलन परिवर्तनशीलता प्रदर्शित कर सकता है। यह एक ऐसा परिदृश्य बनाता है जहां एक एथलीट जो "शारीरिक रूप से तैयार" है, उसे बायोमैकेनिकल प्रणाली के साथ उच्च-भार वाले वातावरण में वापस रखा जाता है जो कि तैयार नहीं है, जिससे उनके दोबारा चोट लगने या नई, अधिक गंभीर चोट लगने का खतरा काफी बढ़ जाता है [9]।

यह अध्ययन इस असमानता को मापने के लिए "तत्परता-क्षमता बेमेल सूचकांक" की अवधारणा पेश करता है। हम परिकल्पना करते हैं कि किशोर एथलीटों में चोट का जोखिम केवल भार का एक कार्य नहीं है, बल्कि उनकी तेजी से बढ़ती शारीरिक क्षमता और उनकी पिछड़ती बायोमैकेनिकल क्षमता के बीच बेमेल है। युवा एथलीटों के एक समूह के अनुदैर्ध्य विश्लेषण के माध्यम से, हमारा लक्ष्य है: 1. किशोर विकास में इस बेमेल के विकास को ट्रैक करना; 2. निर्धारित करें कि क्या इस बेमेल का परिमाण चोट की घटना का पूर्वानुमान है; और 3. केवल पारंपरिक, शरीर विज्ञान-आधारित क्लीयरेंस परीक्षणों पर निर्भर रहने के संभावित खतरों को उजागर करें।

तरीके

बेसलाइन पर 12-17 वर्ष की आयु के बत्तीस किशोर एथलीटों (18 पुरुष, 14 महिला) को स्थानीय प्रतिस्पर्धी खेल क्लबों से भर्ती किया गया था। सभी प्रतिभागी फुटबॉल, बास्केटबॉल, वॉलीबॉल और ट्रैक एंड फील्ड सहित उच्च प्रभाव वाले, बहुदिशात्मक खेलों में सक्रिय रूप से

लगे हुए थे। प्रशिक्षण भार के लिए पर्याप्त जोखिम सुनिश्चित करने के लिए, पात्रता मानदंड के लिए नामांकन से पहले कम से कम एक वर्ष के लिए प्रति सप्ताह 8 घंटे की न्यूनतम प्रशिक्षण आवृत्ति की आवश्यकता होती है।

प्रतिभागियों को बाहर रखा गया था यदि उन्हें बेसलाइन परीक्षण से पहले तीन महीने के भीतर निचले छोर पर चोट लगी थी, पिछली आर्थोपेडिक सर्जरी हुई थी, या कोई न्यूरोमस्कुलर या प्रणालीगत चिकित्सा स्थिति थी जो आंदोलन प्रदर्शन को प्रभावित कर सकती थी।

पूरे अध्ययन अवधि के दौरान विकास और परिपक्वता की स्थिति की निगरानी की गई। प्रत्येक समय बिंदु पर एकत्र किए गए क्रमिक मानवविज्ञान माप से प्राप्त विकास वेग का उपयोग करके जैविक परिपक्वता का अनुमान लगाया गया था। गणना की गई वृद्धि वेग प्रतिशत के आधार पर, प्रतिभागियों को तुलनात्मक विश्लेषण के लिए पूर्वव्यापी रूप से धीमी, मध्यम और तीव्र वृद्धि वेग समूहों में वर्गीकृत किया गया था। अध्ययन प्रोटोकॉल की समीक्षा और अनुमोदन MMSx Authority Institute संस्थागत समीक्षा बोर्ड द्वारा किया गया था। कानूनी अभिभावकों से लिखित सूचित सहमति प्राप्त की गई थी, और भागीदारी से पहले सभी प्रतिभागियों से सहमति प्राप्त की गई थी।

अध्ययन डिजाइन

इस अध्ययन में चार समय बिंदुओं पर बार-बार किए गए मूल्यांकन के साथ 18 महीने के संभावित अनुदैर्ध्य डिजाइन को नियोजित किया गया: बेसलाइन, 6 महीने, 12 महीने और 18 महीने।

प्रत्येक मूल्यांकन सत्र में, एथलीटों को एंथ्रोपोमेट्रिक माप, शारीरिक प्रदर्शन परीक्षण और बायोमैकेनिकल मूवमेंट विश्लेषण सहित एक मानकीकृत परीक्षण बैटरी से गुजरना पड़ा। समय-बिंदुओं में स्थिरता सुनिश्चित करने के लिए सभी मूल्यांकन समान उपकरणों और मानकीकृत प्रक्रियाओं का उपयोग करके एक ही प्रयोगशाला सेटिंग में आयोजित किए गए थे।

परीक्षण पूर्वाग्रह को कम करने के लिए, प्रतिभागियों को परीक्षण से 24 घंटे पहले गहन प्रशिक्षण से परहेज करने का निर्देश दिया गया था। सभी बायोमैकेनिकल परीक्षण एक मानकीकृत वार्म-अप प्रोटोकॉल का पालन करते हुए किए गए थे जिसमें हल्की एरोबिक गतिविधि, गतिशील गतिशीलता अभ्यास और प्रगतिशील सबमैक्सिमल अभ्यास परीक्षण शामिल थे।

डेटा संग्रह एंथ्रोपोमेट्रिक्स और ग्रोथ वेलोसिटी

खड़े होने की ऊँचाई को दीवार पर लगे स्टैडोमीटर का उपयोग करके निकटतम 0.1 सेमी तक मापा गया था, और शरीर के द्रव्यमान को एक कैलिब्रेटेड डिजिटल स्केल का उपयोग करके निकटतम 0.1 किलोग्राम तक मापा गया था। विकास वेग की गणना समय अंतराल (सेमी/वर्ष) से विभाजित समय बिंदुओं के बीच ऊंचाई में परिवर्तन के रूप में की गई थी। विकास वेग का उपयोग परिपक्वता गति के अप्रत्यक्ष मार्कर के रूप में किया गया था और समूह तुलना के लिए तृतीयक में वर्गीकृत किया गया था।

शारीरिक तत्परता मूल्यांकन

शक्ति, शक्ति और एरोबिक क्षमता का प्रतिनिधित्व करने वाले वस्तुनिष्ठ प्रदर्शन उपायों का उपयोग करके शारीरिक तत्परता का मूल्यांकन किया गया था:

ऊर्ध्वाधर छलांग की ऊँचाई

निचले अंगों की विस्फोटक शक्ति का आकलन करने के लिए एक बल प्लेट का उपयोग करके मापा गया। तीन अधिकतम प्रयासों में से सर्वश्रेष्ठ दर्ज किया गया।

आइसोमेट्रिक मिड-जांघ पुल (आईएमटीपी): पीक फोर्स को एक निश्चित बारबेल सेटअप और फोर्स प्लेट एकीकरण का उपयोग करके मापा गया था। प्रतिभागियों ने तीन अधिकतम 3-सेकंड के पुल का प्रदर्शन किया और उच्चतम मूल्य बरकरार रखा गया।

सबमैक्सिमल एरोबिक फिटनेस टेस्ट

अनुमानित VO_2max की गणना आयु और शरीर द्रव्यमान के लिए समायोजित एक मान्य फ़ील्ड-आधारित प्रोटोकॉल का उपयोग करके की गई थी।

किशोरावस्था में विकासात्मक परिवर्तनों को ध्यान में रखते हुए सभी शारीरिक उपायों को शरीर के द्रव्यमान के सापेक्ष सामान्यीकृत किया गया।

बायोमैकेनिकल क्षमता आकलन

ग्राउंड रिएक्शन फोर्स डेटा (1000 हर्ट्ज पर फोर्स प्लेट सैंपलिंग) के साथ सिंक्रनाइज़ किए गए त्रि-आयामी मोशन कैप्चर (8-कैमरा सिस्टम, 200 हर्ट्ज) का उपयोग करके बायोमैकेनिकल क्षमता का मूल्यांकन किया गया था। निचले-छोर बायोमैकेनिकल मॉडल के अनुसार मानकीकृत शारीरिक स्थलों पर चिंतनशील मार्कर लगाए गए थे।

प्रतिभागियों ने 30 सेमी बॉक्स से एक मानकीकृत ड्रॉप-जंप लैंडिंग कार्य किया। प्रत्येक एथलीट ने तीन सफल परीक्षण पूरे किए। प्राथमिक बायोमैकेनिकल चर शामिल हैं:

लैंडिंग कठोरता (केएन/एम)- द्रव्यमान के केंद्र-विस्थापन के सापेक्ष ऊर्ध्वाधर जमीन प्रतिक्रिया बल से गणना की जाती है।

डायनेमिक नी वाल्गस (डिग्री)- पीक लोडिंग के दौरान फ्रंटल प्लेन में मात्रा निर्धारित की जाती है।

लोड क्षीणन (%)- प्रारंभिक जमीनी संपर्क से स्थिरीकरण चरण तक चरम ऊर्ध्वाधर बल में प्रतिशत कमी के रूप में परिभाषित किया गया है।

संचलन परिवर्तनशीलता (%) - संयुक्त किनेमेटिक्स में परीक्षण-से-परीक्षण परिवर्तनशीलता से गणना की जाती है।

प्रत्येक समय बिंदु पर परीक्षणों के दौरान सभी बायोमैकेनिकल चर का औसत निकाला गया।

चोट निगरानी

प्रत्येक टीम से संबद्ध प्रमाणित एथलेटिक प्रशिक्षकों द्वारा 18 महीने की अनुवर्ती अवधि के दौरान सभी गैर-संपर्क, समय-हानि वाली चोटों को संभावित रूप से दर्ज किया गया था। समय-हानि की चोट को किसी भी मस्कुलोस्केलेटल चोट के रूप में परिभाषित किया गया था जिसके परिणामस्वरूप कम से कम एक बाद के प्रशिक्षण सत्र या प्रतिस्पर्धी कार्यक्रम में भागीदारी छूट गई थी।

चोट के डेटा में चोट का प्रकार, स्थान, तंत्र (गैर-संपर्क बनाम संपर्क), और खेल पर लौटने का समय शामिल है। बायोमैकेनिकल जोखिम मॉडलिंग के साथ संरेखित करने के लिए प्राथमिक विश्लेषण में केवल गैर-संपर्क चोटों को शामिल किया गया था।

तत्परता-क्षमता बेमेल सूचकांक

शारीरिक विकास और बायोमैकेनिकल नियंत्रण के बीच अंतर को मापने के लिए, समग्र स्कोर का निर्माण किया गया था। एपीफिजियोलॉजिकल रेडीनेस स्कोर ऊर्ध्वाधर छलांग ऊंचाई, आईएमटीपी शिखर बल और अनुमानित VO_2max के z-स्कोर सामान्यीकरण द्वारा उत्पन्न किया गया था। समग्र सूचकांक तैयार करने के लिए इन मानकीकृत मूल्यों का औसत निकाला गया।

एबायोमैकेनिकल क्षमता स्कोर इसी तरह लैंडिंग कठोरता, गतिशील घुटने वाल्गस (जहां आवश्यक हो, उल्टा), लोड क्षीणन और आंदोलन परिवर्तनशीलता के सामान्यीकृत मूल्यों का उपयोग करके प्राप्त किया गया था।

तत्परता-क्षमता बेमेल सूचकांक की गणना इस प्रकार की गई:

बेमेल सूचकांक = शारीरिक तत्परता स्कोर - बायोमैकेनिकल क्षमता स्कोर एक उच्च सकारात्मक मूल्य ने संकेत दिया कि शारीरिक प्रदर्शन बायोमैकेनिकल नियंत्रण क्षमता की तुलना में अधिक तेजी से आगे बढ़ रहा था। शून्य के करीब का मान संतुलित अनुकूलन का प्रतिनिधित्व करता है।

सांख्यिकीय विश्लेषण

वर्णनात्मक आँकड़ों की गणना ± मानक विचलन के रूप में की गई थी। शापिरो-विल्क परीक्षणों का उपयोग करके वितरण की सामान्यता का आकलन किया गया था। ची-स्क्वायर परीक्षणों का उपयोग करके विकास वेग श्रेणियों (धीमी, मध्यम, तेज़) में चोट की घटनाओं की दर की तुलना की गई। बायोमैकेनिकल क्षमता में अनुदैर्ध्य परिवर्तनों का वर्णनात्मक रूप से विश्लेषण किया गया और विकास वेग समूह द्वारा स्तरीकृत किया गया। अध्ययन अवधि के दौरान चोट लगने वाले एथलीटों के बेमेल सूचकांक मूल्यों की तुलना उन एथलीटों से की गई जो गैर-सामान्य वितरण के कारण मैन-व्हिटनी यू परीक्षण का उपयोग करके चोट-मुक्त रहे।

पारंपरिक फिजियोलॉजी-आधारित मानदंडों द्वारा स्वीकृत लेकिन बायोमैकेनिकल तत्परता सीमा को पूरा नहीं करने वाले एथलीटों के अनुपात की गणना क्लीयरेंस मॉडल के बीच विसंगति की मात्रा निर्धारित करने के लिए की गई थी।

महत्व स्तर $\alpha = 0.05$ पर निर्धारित किया गया था। व्यावहारिक महत्व निर्धारित करने के लिए प्रभाव आकार की गणना की गई (पैरामीट्रिक तुलना के लिए कोहेन का डी और गैर-पैरामीट्रिक परीक्षणों के लिए रैंक-द्विक्रमिक सहसंबंध)।

सभी सांख्यिकीय विश्लेषण एसपीएसएस (संस्करण XX) का उपयोग करके आयोजित किए गए और पायथन में माध्यमिक विश्लेषण के साथ सत्यापित किए गए।

परिणाम

चोट का जोखिम और विकास वेग

18 महीने के अध्ययन में, तीव्र वृद्धि वेग श्रेणी के एथलीटों में मध्यम (29.2%) और धीमी (20.0%) वृद्धि श्रेणियों की तुलना में काफी अधिक चोट दर (40.0%) थी, हालांकि नमूना आकार (χ^2 = X.XX, df = 2) के कारण यह अंतर सांख्यिकीय महत्व (पी = 0.146) तक नहीं पहुंच पाया। यह प्रवृत्ति इस परिकल्पना का समर्थन करती है कि तीव्र विकास की अवधि बढ़े हुए चोट के जोखिम से जुड़ी होती है (चित्र 1)।

चित्र 1: तीव्र वृद्धि वेग समूह में चोट की घटनाएं सबसे अधिक थीं, जो चरम वृद्धि के दौरान एथलीटों की भेद्यता को उजागर करती हैं।

तत्परता-क्षमता बेमेल का विकास

तत्परता-क्षमता बेमेल सूचकांक ने समय के साथ नाटकीय और महत्वपूर्ण वृद्धि दिखाई (चित्र 2)। बेसलाइन पर, सूचकांक शून्य के करीब था, जो शरीर विज्ञान और बायोमैकेनिक्स के बीच एक सापेक्ष संतुलन का संकेत देता है। हालाँकि, 6- और 12-महीने के अंकों से - कई प्रतिभागियों के लिए किशोर वृद्धि के शिखर के अनुरूप - सूचकांक तेजी से बढ़ा, जो दर्शाता है कि

शारीरिक लाभ तेजी से बायोमैकेनिकल परिपक्वता से आगे निकल रहे थे। विकास दर धीमी होने और न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण में तेजी आने के कारण सूचकांक 18 महीने में स्थिर होने लगा।

चित्र 2: बेमेल सूचकांक 12 महीनों में चरम पर पहुंच गया, जो एक महत्वपूर्ण खिड़की को दर्शाता है जहां शारीरिक तत्परता बायोमैकेनिकल क्षमता से कहीं अधिक है।

चोट के पूर्वानुमानक के रूप में बेमेल सूचकांक

बेमेल सूचकांक चोट का एक शक्तिशाली भविष्यवक्ता था। गैर-घायल एथलीटों (16.1 ± एसडी; मान-व्हिटनी यू = XXX, पी <.0001, आर = प्रभाव आकार) की तुलना में घायल एथलीटों (28.1 ± एसडी) में बेमेल सूचकांक काफी अधिक था। यह खोज सीधे हमारी केंद्रीय परिकल्पना का समर्थन करती है: यह तत्परता और क्षमता के बीच का अंतर है जो चोट की स्थिति पैदा करता है।

चित्र 3: चोट लगने वाले एथलीटों में बेमेल सूचकांक काफी अधिक था, जो जोखिम स्तरीकरण उपकरण के रूप में इसकी उपयोगिता की पुष्टि करता है।

क्लीयरेंस प्रोटोकॉल में विसंगति

हमारे विश्लेषण से पारंपरिक और बायोमैकेनिकल क्लीयरेंस मानदंडों के बीच एक चिंताजनक विसंगति का पता चला। सभी समय बिंदुओं पर, मानक शारीरिक फिटनेस परीक्षणों के आधार पर "क्लीयर" किए गए 16.4% एथलीट न्यूनतम बायोमैकेनिकल सुरक्षा सीमा को पूरा करने में विफल रहे। इस असंगत समूह के भीतर चोट की दर 47.6% थी, जो कि समूह में 31.2% की चोट दर से काफी अधिक थी, जिसे शारीरिक और बायोमैकेनिकल दोनों मानकों द्वारा मंजूरी दे दी गई थी।

अंत में, चित्र 4 अंतर्निहित जैवयांत्रिक परिवर्तनों को दर्शाता है। विकास में तेजी के दौरान, रैपिड ग्रोथ समूह के एथलीटों ने संयुक्त स्थिरता और भार क्षीणन में क्षणिक गिरावट देखी, और आंदोलन परिवर्तनशीलता में वृद्धि देखी, ठीक उसी समय जब उनकी शारीरिक शक्ति बढ़ रही थी। यह तत्परता-क्षमता बेमेल का यंत्रवत हस्ताक्षर है।

चित्र 4: तीव्र विकास समूह के एथलीटों ने 6- और 12-महीने की अवधि के दौरान प्रमुख बायोमैकेनिकल नियंत्रण मेट्रिक्स में अस्थायी गिरावट का प्रदर्शन किया, जो उनके विकास के शिखर के साथ मेल खाता था।

चर्चा

यह 18 महीने की अनुदैर्ध्य जांच इस बात का सबूत देती है कि किशोर एथलीटों में चोट के जोखिम को अलग-अलग प्रदर्शन मेट्रिक्स के बजाय शारीरिक विकास और बायोमैकेनिकल नियंत्रण के बीच बातचीत के माध्यम से अधिक सटीक रूप से समझा जा सकता है। रेडीनेस-कैपेसिटी मिसमैच इंडेक्स का उपयोग करके शारीरिक तत्परता और बायोमैकेनिकल क्षमता के बीच अंतर को मापकर, यह अध्ययन दर्शाता है कि त्वरित शारीरिक विकास की अवधि न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण और प्रभाव प्रबंधन में औसत दर्जे की अस्थिरता के साथ होती है।

बेमेल सूचकांक में सबसे स्पष्ट वृद्धि 6- और 12-महीने के समय-बिंदुओं के बीच हुई, जो मध्य-किशोरावस्था में त्वरित विकास वेग की अपेक्षित खिड़कियों के साथ अस्थायी रूप से संरेखित होती है। इस अवधि के दौरान, एथलीटों ने शक्ति और ताकत मेट्रिक्स में सुधार का प्रदर्शन किया, फिर भी लैंडिंग कठोरता विनियमन, संयुक्त स्थिरता सूचकांक और भार क्षीणन दक्षता में समवर्ती गिरावट देखी गई। ये निष्कर्ष इस अवधारणा का समर्थन करते हैं कि परिपक्वता के दौरान शारीरिक उत्पादन संरचनात्मक और न्यूरोमोटर नियंत्रण प्रणालियों की तुलना में अधिक तेजी से प्रगति कर सकता है।

बायोमैकेनिकल दृष्टिकोण से, यह विचलन संभवतः मोटर समन्वय में क्षणिक कमी, परिवर्तित अंग खंड अनुपात और तेजी से विकास से जुड़ी मांसपेशी-कण्डरा कठोरता विशेषताओं को दर्शाता है। परिणाम यह होता है कि एक एथलीट अधिक ताकतें पैदा करने में सक्षम होता है और साथ ही उन ताकतों को सुरक्षित रूप से नष्ट करने की कम क्षमता प्रदर्शित करता है। यह बेमेल लैंडिंग और मंदी जैसे उच्च प्रभाव वाले कार्यों के दौरान ऊंचे संयुक्त लोडिंग की स्थिति और बढ़े हुए यांत्रिक तनाव का निर्माण करता है। महत्वपूर्ण बात यह है कि बेमेल सूचकांक ने घायल और गैर-घायल एथलीटों के बीच मजबूत भेदभाव क्षमता का प्रदर्शन किया। जिन एथलीटों को गैर-संपर्क चोटें लगीं, उन्होंने चोट-मुक्त रहने वाले एथलीटों की तुलना में काफी अधिक बेमेल मूल्यों का प्रदर्शन किया। इससे पता चलता है कि चोट का जोखिम केवल ताकत की कमी या जोखिम की मात्रा से नहीं, बल्कि बल उत्पादन क्षमता और बल अवशोषण/नियंत्रण क्षमता के बीच असंतुलन से प्रेरित हो सकता है।

एक और महत्वपूर्ण खोज पारंपरिक फिजियोलॉजी-आधारित क्लीयरेंस मॉडल और बायोमैकेनिकल तत्परता के बीच विसंगति थी। पारंपरिक शक्ति और शक्ति मानकों को पूरा करने वाले एथलीटों के एक बड़े अनुपात ने पर्याप्त बायोमैकेनिकल नियंत्रण सीमाएँ प्रदर्शित नहीं कीं। इस असंगत उपसमूह के भीतर चोट की घटनाएं उल्लेखनीय रूप से अधिक थीं, यह दर्शाता है कि अकेले शारीरिक मेट्रिक्स विकासात्मक अवधि के दौरान खेल भागीदारी के लिए तत्परता को अपर्याप्त रूप से प्रतिबिंबित कर सकते हैं।

सामूहिक रूप से, ये निष्कर्ष युवा खेलों में प्रचलित प्रदर्शन-केंद्रित प्रतिमान को चुनौती देते हैं, जहां ताकत और शक्ति लाभ को अक्सर प्रगति के लिए तत्परता के मार्कर के रूप में व्याख्या किया जाता है। इसके बजाय, वर्तमान डेटा सुझाव देता है कि चोट की रोकथाम रणनीतियों को शारीरिक अनुकूलन के साथ-साथ न्यूरोमस्कुलर नियंत्रण के समकालिक विकास पर जोर देना चाहिए।

सिस्टम-अनुकूलन परिप्रेक्ष्य से, यह बेमेल मांसपेशी-कण्डरा कठोरता, खंडीय जड़ता परिवर्तन, और चरम ऊंचाई वेग के दौरान केंद्रीय मोटर नियंत्रण पुनर्गणना की अतुल्यकालिक परिपक्वता को दर्शाता है। गतिशील स्थिरता में अस्थायी कमी संभवतः साधारण कमजोरी के बजाय एक न्यूरोमैकेनिकल पुनर्गठन चरण का प्रतिनिधित्व करती है, इस बात पर जोर देते हुए कि चोट का जोखिम अलग-अलग ताकत की कमी के बजाय समन्वय समय और भार वितरण दक्षता द्वारा नियंत्रित होता है।

सीमाएँ

इन निष्कर्षों की व्याख्या करते समय कई सीमाओं को स्वीकार किया जाना चाहिए।

सबसे पहले, हालांकि अध्ययन संरचना में अनुदैर्ध्य था, यह प्रकृति में अवलोकन संबंधी बना हुआ है। जबकि बेमेल परिमाण और चोट की घटना के बीच मजबूत संबंध की पहचान की गई थी, कारणता को निश्चित रूप से स्थापित नहीं किया जा सकता है। यह संभव है कि प्रशिक्षण भार में उतार-चढ़ाव, मनोसामाजिक तनाव, या खेल-विशिष्ट तकनीक जैसे अनपेक्षित चर ने चोट के परिणामों में योगदान दिया हो।

दूसरा, नमूना आकार, प्रारंभिक मॉडलिंग के लिए पर्याप्त होते हुए भी, उपसमूह सांख्यिकीय शक्ति को सीमित करता है, विशेष रूप से विकास वेग श्रेणियों के भीतर। बड़े बहु-केंद्र समूह सामान्यीकरण को मजबूत करेंगे और अधिक उन्नत भविष्य कहनेवाला मॉडलिंग दृष्टिकोण की अनुमति देंगे। तीसरा, परिपक्वता की स्थिति का अनुमान टैनर स्टेजिंग या हार्मोनल प्रोफाइलिंग जैसे प्रत्यक्ष जैविक परिपक्वता संकेतकों के बजाय विकास वेग का उपयोग करके लगाया गया था। यद्यपि किशोरावस्था के दौरान विकास वेग एक व्यापक रूप से स्वीकृत प्रॉक्सी है, यह परिपक्वता के समय में व्यक्तिगत परिवर्तनशीलता को पूरी तरह से पकड़ नहीं सकता है।

चौथा, बायोमैकेनिकल मूल्यांकन एक मानकीकृत ड्रॉप-जंप कार्य का उपयोग करके नियंत्रित प्रयोगशाला सेटिंग में किया गया था। हालांकि यह उच्च माप विश्वसनीयता की अनुमति देता है, यह प्रतिस्पर्धा में आने वाले जटिल खेल-विशिष्ट लोडिंग वातावरण को पूरी तरह से दोहरा नहीं सकता है।

अंत में, चोट निगरानी विशेष रूप से गैर-संपर्क, समय-हानि वाली चोटों पर केंद्रित थी। बायोमैकेनिकल मॉडलिंग के लिए उपयुक्त होते हुए भी, यह दृष्टिकोण समय-हानि या संपर्क-संबंधी आघात के बिना अत्यधिक उपयोग की चोटों के लिए जिम्मेदार नहीं है।

भविष्य के अध्ययनों में बड़े समूहों, जैविक परिपक्वता मार्करों, खेल-विशिष्ट आंदोलन कार्यों और हस्तक्षेप हथियारों को शामिल किया जाना चाहिए, जो प्रेरक मार्गों को बेहतर ढंग से समझने के लिए बेमेल कमी को लक्षित करते हैं।

निष्कर्ष

किशोरों के एथलेटिक विकास की विशेषता शारीरिक और बायोमैकेनिकल प्रणालियों की अतुल्यकालिक परिपक्वता है। वर्तमान अध्ययन से पता चलता है कि इन प्रणालियों के बीच विचलन - तत्परता-क्षमता बेमेल सूचकांक के माध्यम से निर्धारित - गैर-संपर्क चोट जोखिम में वृद्धि के साथ महत्वपूर्ण रूप से जुड़ा हुआ है।

ऐसा प्रतीत होता है कि तीव्र विकास की अवधि इस असंतुलन को बढ़ाती है, जिससे ऐसे एथलीट पैदा होते हैं जो शारीरिक रूप से मजबूत होते हैं लेकिन बाहरी भार को प्रबंधित करने के लिए बायोमैकेनिकल रूप से कम सुसज्जित होते हैं। यह बेमेल किशोरावस्था के दौरान चोट की घटनाओं में अच्छी तरह से प्रलेखित वृद्धि के लिए एक यंत्रवत स्पष्टीकरण का प्रतिनिधित्व कर सकता है।

इसलिए क्लीयरेंस मानदंड के रूप में अकेले ताकत, शक्ति या एरोबिक प्रदर्शन मेट्रिक्स पर निर्भरता वास्तविक चोट की संवेदनशीलता को कम कर सकती है। एथलीट निगरानी ढांचे में वस्तुनिष्ठ बायोमैकेनिकल मूल्यांकन को एकीकृत करने से जोखिम स्तरीकरण में सुधार हो सकता है और महत्वपूर्ण विकासात्मक खिड़कियों के दौरान लक्षित न्यूरोमस्कुलर हस्तक्षेप की अनुमति मिल सकती है।

एक एकीकृत तत्परता ढांचा जो एक साथ शारीरिक आउटपुट और बायोमैकेनिकल लोड प्रबंधन क्षमता का मूल्यांकन करता है, विकास त्वरण चरणों के दौरान रोकथाम योग्य गैर-संपर्क चोटों को कम करने के लिए युवा एथलीट निगरानी प्रणालियों में मानक अभ्यास बनना चाहिए।

संदर्भ

संदर्भ मूल अंग्रेज़ी में यथावत दिए गए हैं।

1. Malina, R. M., et al. (2004). Growth, maturation, and physical activity.*Human Kinetics*.
2. Ford, K. R., et al. (2003). Analysis of landing strategies in adolescent girls.*Journal of Bone and Joint Surgery*, 85(9), 1743-1749.
3. Hewett, T. E., et al. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study.*The American Journal of SportsMedicine*, 33(4), 492-501.
4. Quatman-Yates, C. C., et al. (2012). A systematic review of sensorimotor function during adolescence: a developmental stage of increased motor awkwardness?*British Journal of SportsMedicine*, 46(9), 649-655.
5. Pfeiffer, R. P., et al. (2006). An analysis of landing biomechanics in adolescent females.*Gait & Posture*, 23(3), 314-319.
6. Myer, G. D., et al. (2014). The effects of puberty on the risk for anterior cruciate ligament injury.*Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 22(11), 714-723.

7. DiFiori, J. P., et al. (2014). Overuse injuries and burnout in youth sports: a position statement from the American Medical Society for Sports Medicine.*Clinical Journal of Sport Medicine*,24(1), 3-20.
8. Grindstaff, T. L., et al. (2016). Hop-testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction.*Journal of Orthopaedic &Sports Physical Therapy*, 46(6), 485-493.
9. Paterno, M. V., et al. (2010). Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport.*The American Journal of SportsMedicine*, 38(10), 1968-1978.
10. Read, P. J., et al. (2016). The ability of the Y-Balance Test to predict lower-extremity injury in military recruits.*Journal of Sport Rehabilitation*, 25(4), 323-328.
11. Lloyd, R. S., et al. (2015). The effects of shoe cushioning on the biomechanics of landing in adolescent boys.*Journal of Sports Sciences*, 33(13), 1375-1383.
12. Eisenmann, J. C. (2008). Maturation and physical activity.*Pediatric Exercise Science*, 20(3), 227-231.

उद्धरण

कृपया मूल अंग्रेज़ी लेख का हवाला दें:

Alfiero, C., Okon, I. A., Fatahian, A., Estañán Martínez, J., Imen, A., Malhotra, S., & Mahajan, A. (2026). Mismatch Between Physiological Readiness and Biomechanical Load Capacity in Adolescent Athletes. *Journal of Movement Mechanics & Biomechanics Science*, *2*(2). https://doi.org/10.66078/jmmbs.v2i2.002

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

यह अनुवाद मूल लेख के CC BY 4.0 लाइसेंस की शर्तों के अनुसार, मूल लेखकों और स्रोत के उचित श्रेय सहित, साझा किया गया है।

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