
Biomechanische Leistungsdiagnostik von leichtathletischen Wurf- und Stoßdisziplinen unter Einsatz eines Inertialmesssystems zum Trainingsmonitoring

(AZ 070609/09)

Nico Ganter, Kerstin Witte (Projektleiterin) & Jürgen Edelmann-Nusser (Projektleiter)

Universität Magdeburg, Institut für Sportwissenschaft

Problem

In den leichtathletischen Wurf- und Stoßdisziplinen ist eine erfolgreiche Technik durch die Fähigkeit einer maximalen muskulären Leistungsabgabe an das Wurfgerät gekennzeichnet. Da eine Steigerung der Leistungsabgabe über die Erhöhung der Trainingsumfänge im Spitzenbereich nur noch bedingt möglich scheint, liegt eine Alternative in der Optimierung der Wurftechnik (Hildebrand & Perlt, 2007). Dies setzt die Kenntnis der Bewegungsstruktur von erfolgreichen Techniken voraus und benötigt entsprechende Bewegungsanalysen. Für die Erfassung von komplexen Rotationsbewegungen in realen Sportumgebungen, wie z. B. beim Diskuswurf und Kugelstoß können Ganzkörperinertialmesssysteme (IMS) eine lohnende Alternative zu videobasierten Systemen darstellen (Ganter et al., 2010). Auf Basis der Bewegungsdaten besteht zudem die Möglichkeit, über eine anschließende Modellierung und Simulation der Bewegung wertvolle Erkenntnisse zur Charakteristik von erfolgreichen Techniken zu gewinnen. Exemplarisch sollen im Folgenden Ergebnisse einer Bewegungsanalyse und einer anschließenden Modellierung der Drehstoßtechnik im Kugelstoßen dargestellt werden.

Methode

Datenerhebung

Ein männlicher Drehstoßer (23 Jahre; 125 kg; 1,88 m; B-Kader) führte sechs Versuche der Drehstoß-Wettkampftechnik (8 kg Kugel) am Messplatz Wurf/Stoß des IAT Leipzig durch. Alle Versuche wurden vom Sportler unmittelbar im Anschluss auf einer fünfstufigen Skala subjektiv bewertet und für die besten Versuche die Stoßweite gemessen. Die Bewegungsaufzeichnung erfolgte mit einem Ganzkörperinertialmesssystem IMS (MVN, Fa. Xsens Technologies, Niederlande). Das IMS bestand dabei aus 17 Sensoreinheiten, die über Strap-Verschlüsse an den Segmenten des Probanden befestigt wurden. Jede Sensoreinheit integriert 3D Beschleunigungsaufnehmer (Range: ± 5 g), 3D Gyroskope (Range: $\pm 1200^\circ/\text{s}$) und 3D Magnetfeldsensoren. Aufgrund der im Bereich der Stoßhand zu erwartenden höheren Beschleunigungen, wurden für die Segmente Hand und Unterarm der Stoßseite Sensoreinheiten mit Beschleunigungsaufnehmern im Messbereich ± 18 g eingesetzt. Die Datenaufzeichnung des IMS erfolgte mit Hilfe der MVN Studio Software

(v2.6, Xsens) mit einer Messfrequenz von 120 Hz. Für das biomechanische Modell mit 23 Segmenten und 22 Gelenken dienten acht anthropometrische Parameter als Eingangsgrößen (Körperhöhe, Schuhgröße, Armspannweite, Hüfthöhe, Kniehöhe, Sprunggelenkhöhe, Hüftweite, Schulterweite). Die Initialisierung des biomechanischen Modells erfolgte über die Standardkalibrierprozedur des Systems (Einnahme verschiedener Posen). Parallel wurde die Bewegung mit zwei Videokameras aus der Seit- und Rückansicht mit einer Bildfrequenz von 200 Hz aufgezeichnet (System Templo, Fa. Contemplas). Die zeitliche Synchronisation von IMS und Videosystem erfolgte über einen vor jedem Versuch aufgezeichneten Sprung des Sportlers, bei dem der Landezeitpunkt aus dem Video und im Beschleunigungssignal des Fußes detektiert wurde. Aus den Videoaufzeichnungen konnten dann die Zeitpunkte der verschiedenen Bewegungsphasen extrahiert werden.

Modellierung

Zunächst erfolgte der Export der Bewegungsdaten des IMS über die Systemsoftware (MVN Studio v3.1) ins c3d-Format. Für die Modellierung der Drehstoßtechnik wurde die Mehrkörpersimulationsumgebung alaska (v6.0, Institut für Mechatronik, TU Chemnitz) und das biomechanische Menschmodell DYNAMICUS® verwendet. Über Vorgabe von sechs anthropometrischen Parametern erfolgte die Anpassung des Modells an den Sportler. Die Bewegungskordinaten wurden dann als sogenannte „Motion-Marker“ importiert und mit insgesamt 32 „Body-Markern“ des DYNAMICUS-Modells verknüpft. Über die anschließende inverse Kinematik lässt sich die aufgezeichnete Bewegung auf das Modell übertragen und danach können die resultierenden Bewegungsgrößen, wie Körperschwerpunkt, Impuls und Drehimpuls berechnet werden. Eine Beurteilung der Güte der Modellanpassung erfolgt über die Abstände zwischen den zugehörigen Motion- und Body-Markern und deren zeitlicher Veränderung und die visuelle Einschätzung des simulierten Bewegungsablaufs.

Ergebnisse

Die mittlere Dauer der einzelnen Phasen der sechs Versuche betrug 0,81 s (T1-T2), 0,50 s (T2-T3), 0,12 s (T3-T4), 0,24 s (T4-T5) bzw. 0,23 s (T5-T6; vgl. Abb. 1).



Abb. 1. Phasenstruktur der Drehstoßtechnik: T1-T2: erster Doppelstütz; T2-T3: erster Einzelstütz (links); T3-T4: Flug; T4-T5: zweiter Einzelstütz (rechts); T5-T6: zweiter Doppelstütz und Lösen (Flug)

In Abb. 2 ist der zeitliche Verlauf des Drehimpulses um die Körperlängsachse für vier Versuche dargestellt. Dabei erfolgt die Gegenüberstellung von drei gut bewerteten (V1, V3, V4) und einem schlecht bewerteten Versuch (V2).

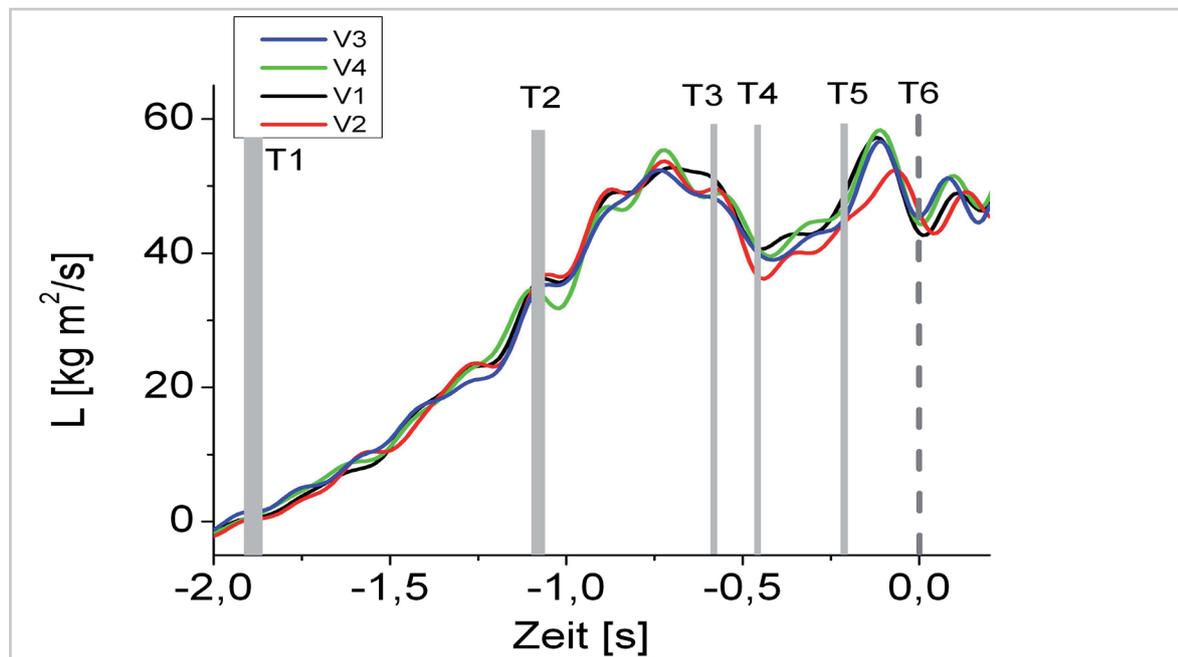


Abb. 2. Zeitlicher Verlauf des Drehimpulses um die Körperlängsachse für vier Versuche (V1-V4)

Diskussion

Aus den exemplarisch dargestellten Verläufen des Drehimpulses um die Körperlängsachse (Abb. 2) kann eine Charakterisierung der individualspezifischen Drehstoßtechnik im Kugelstoßen erfolgen. Der Aufbau eines Körperdrehimpulses hat eine zentrale Bedeutung für die Rotationstechniken, da er eine erhöhte „Gratisgeschwindigkeit“ des Gerätes für die finale Beschleunigungsphase ermöglicht (Hildebrand & Perlt, 2007). In den ersten beiden Bewegungsphasen (T1-T3) erfolgt zunächst der Aufbau des Drehimpulses bis zum ersten Maximum, während sich dieser zum Ende des Umspringens (T3) und in der anschließenden Flugphase wieder verringert (Abb. 2). Während der nachfolgenden Stützphasen wird dann das zweite Maximum erreicht, wobei sich hier Unterschiede in der Ausprägung zwischen den gelungenen und nicht gelungenen Versuchen ergeben. Vor dem abschließenden Lösen (T6) ist eine Verringerung des Drehimpulses durch die Übertragung auf die Kugel zu beobachten.

Die exemplarisch dargestellten Ergebnisse veranschaulichen die Möglichkeiten einer kombinierten Analyse von rotatorischen Bewegungen mittels Ganzkörperinertialmesssystem und einer anschließenden Modellierung, die einen Erkenntnisgewinn zur Charakteristik von Wurf- und Stoßtechniken liefern können. Dabei lassen sich u. a. Unterschiede zwischen verschiedenen Sportlern und Technikvarianten z. B. in Bezug auf die Wechselwirkungen von Drehimpulsverlauf und den Abflug-

parametern des Gerätes, sowie der daraus resultierenden Werte analysieren. Für eine umfassende Modellierung der Bewegungstechniken muss darüber hinaus die Einbindung der Geräte in Betracht gezogen werden.

Literatur

- Ganter, N., Krüger, A., Gohla, M., Witte, K. & Edelmann-Nusser (2010). Applicability of a full body inertial measurement system for kinematic analysis of the discus throw. In R. Jensen, W. Ebben, E. Petushek, C. Richter & K. Roemer (Eds.), *Proceedings of the 28th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports* (pp. 799-803). Marquette: Northern Michigan Univ.
- Hildebrand, F. & Perl, B. (2007). Moderne Techniken des Diskuswerfens. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 14 (2), 39-65.