
Bewegungsanalyse und Bewegungssteuerung im Dreisprung¹

Margot Niessen, Ulrich Hartmann & Annelie Jürgens

Technische Universität München

Fachgebiet für Theorie und Praxis der Sportarten

1 Einleitung

Der leichtathletische Dreisprung stellt hohe und komplexe Anforderungen an die koordinativ-technischen Fähigkeiten des Athleten, insbesondere an das Rhythmusgefühl und Zeitprogramm, eine gute Absprungscoordination zum Hop, Step und Jump sowie das Gleichgewichtsvermögen im Flug. Als charakteristische, dreisprungspezifisch leistungs-limitierende Merkmale werden in der Literatur geringe horizontale Geschwindigkeitsverluste bei den Absprüngen (Sorenson, 1997), eine optimale Relation von Flughöhe und Horizontalgeschwindigkeit (Yu & Hay, 1996), ein optimales Verhältnis vom Hop zum Step bezüglich Dauer, Flughöhe und Horizontalgeschwindigkeit (Fukashiro et al., 1981; Fukashiro & Miyashita, 1983; Yu, 1999), günstige Knie- und Hüftwinkel beim Take-off (Yu & Hay, 1995; Jürgens, 1998; Perttunen et al., 2000) und prozentuale Teilsprungweiten von Hop 35-36 %, Step 30-31 % und Jump 33-35 % angegeben.

Die trainings- und vor allem wettkampfbegleitenden Untersuchungen orientierten sich an folgenden Hypothesen:

- Wie verhalten sich Athleten und Athletinnen bei der Technik(Leitbild)Umsetzung und wie lassen sich Technikaspekte visualisieren?
- Wie lässt sich eine hohe Anlaufgeschwindigkeit optimal und ökonomisch in einen quantitativ messbaren Erfolg umsetzen und welche Parameter beeinflussen die Teilsprunggestaltung?

Des Weiteren sollte die Feststellung, dass es immer wieder, insbesondere bei erfahrenen Elite-Dreispringern, im Verlauf von Wettkämpfen zu sog. Unterbrechungen (Breaks) in den Bewegungsmustern kommt, näher untersucht werden:

- Sind diese Breaks physio-mechanischer Natur und wie lassen sie sich Objektivieren?
- Durch welche, eventuell noch zu entwickelnden, Trainingsstrategien können sie gegebenenfalls vermindert oder behoben werden?

¹ VF 0407/16/05/2002; VF 0407/16/03/2003

2 Methodik

Seit 2002 wurden zahlreiche männliche (TJ_m) und weibliche (TJ_w) Athleten der nationalen Kader A-D/C, Teilnehmer nationaler und internationaler Meisterschaften (Leichtathletik-Europameisterschaften 2002 in München) sowie Wettkämpfe untersucht. Bei 19 Veranstaltungen konnten insgesamt 1987 Geschwindigkeits- und 1840 Videoanalysen durchgeführt werden. In weiteren sechs Lehrgängen bzw. Trainingscamps mit Schwerpunkt Technik und Koordination wurden neben 675 Geschwindigkeitsmessungen (Sprung und Sprint) weitere 736 Videoaufzeichnungen (Sprung, Sprint, Koordination) und 59 High-speedaufnahmen (Sprung) analysiert.

Die Anlauf- und Teilsprunggestaltung wurde mittels Laserdistanzmesssystem LDM 300C (Jenoptik, Jena) registriert (100 Hz). Plaziert in Bewegungsrichtung konnte damit die Distanz zwischen Laser und reflektierendem Objekt (unterer Rückenbereich) bestimmt werden. Über ausgewählte Filter (gleitender Mittelwert (9pt & 67pt) über Distanz und Geschwindigkeit) erfolgte eine Glättung der in Echtzeit gespeicherten Roh-Distanz- und berechneten Geschwindigkeitsdaten (Software: Sport 3.9 (Jenoptik, Jena), LavegDrei (Huber, München), AdGraph (BASIS, München)). Zur visuellen Beurteilung des Bewegungsablaufs wurde eine digitale Videokamera (Canon XM-1 (Canon, Japan)) seitlich zur Bewegungsrichtung auf Höhe des Hop-Step-Übergangs plaziert. Selektive kinematische 2D-Analysen (e.g. Schrittlängen (SP), Teilsprungdistanzen (PD)) und Visualisierungen erfolgten mit verschiedenen Modulen der DartTrainer Professional Suite 2.5.3.62 (Dartfish, Fribourg), statistische Analysen mit SPSS 12.0.1 (SPSS Inc. USA).

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Visualisierung technischer Aspekte

Querschnittsanalysen zeigen vor allem bei den Männern drei Technikvarianten, aber kein eindeutiges Technik(leit)bild. Hiernach lassen sich sog. „Speed-Jumper“, d.h. Springer mit überdurchschnittlich hoher Anlaufgeschwindigkeit ($v_{\max} \text{♂} > 10.4 / \text{♀} > 9 \text{ m s}^{-1}$) und flachen Teilsprüngen, „Power-Jumper“, d.h. Springer mit z.T. hohen Anlaufgeschwindigkeiten ($v_{\max} \text{♂} \sim 10.2 \text{ m s}^{-1}$), steilem Absprung zum Hop und damit höherer KSP-Kurve und geringeren Knie- und Hüftwinkeln in den Transitionsphasen der Teilsprünge, sowie „Twin-Arm-Jumper“, d.h. Springer mit koordinativ anspruchsvoller Doppelarmführung in den Teilsprüngen und flacher Absprungtechnik, klassifizieren. Im Allgemeinen lassen Bewegungsmuster heutzutage verschiedene Elemente der o.g. Technikvarianten kombinatorisch beobachten.



Abb. 1: StroMotion™-Panoramabild unter Angabe der Teilweiten (m) – effektive Gesamtsprungweite 17.12 m.

Mittels StroMotion™-Panoramabildern und -videos, SimulCam™ (Überblendungen), Videokombinationen (z.B. intra-individueller Vergleich von bis zu vier Sprüngen in einem synchronisierten Video) und unter Trainingsbedingungen auch Highspeed-Aufnahmen können Bewegungsabläufe und ausgewählte technische Aspekte hervorragend veranschaulicht werden. Erweiternd lassen sich mit dem Dartfish Producer™ Modul sehr kompakte Präsentationen, u.a. zur Visualisierung und Markierung von Schlüsselpositionen, erstellen.

3.2 Time-Management und Geschwindigkeitsprofile

Die erzielten Sprungweiten sind stark von der Höhe der Horizontalgeschwindigkeit (Ogandzanov et al., 2003) und damit der Stärke der Transformation in kinetische Energie im Anlauf und bei den drei Absprünge zum Hop, Step und Jump beeinflusst. Weltklasseleistungen im Dreisprung werden mit Spitzengeschwindigkeiten (v_{\max}) von $> 10.2 \text{ m s}^{-1}$ bei den Männern (TJ $> 17 \text{ m}$) und $> 9.1 \text{ m s}^{-1}$ bei den Frauen (TJ $> 14.5 \text{ m}$) im Anlauf erreicht (e.g. Niessen et al., 2003 & 2004).

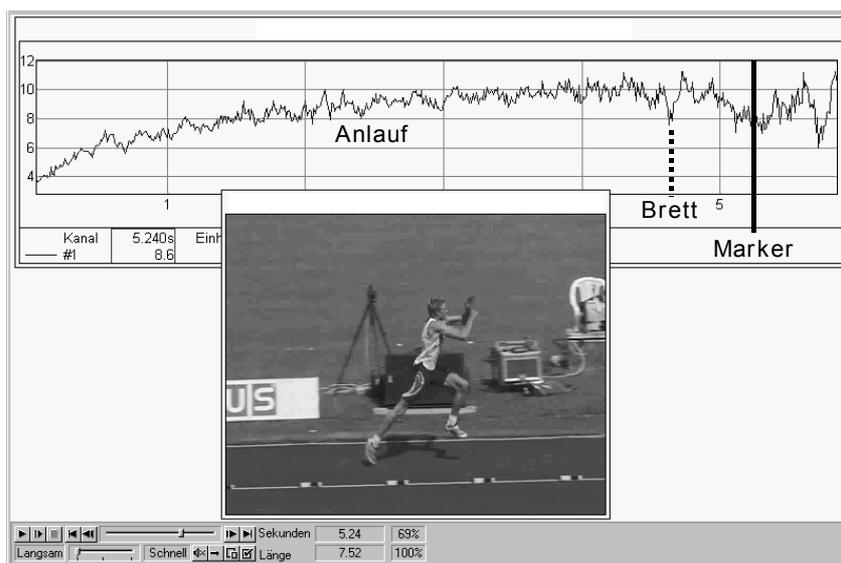


Abb. 2: Video mit Geschwindigkeitsverlauf (9pt mov. average) synchronisiert (Position des Springers mit senkrechter Linie in Kurve markiert).

Verschiedene Autoren fanden signifikante, positive Korrelationen zwischen der Horizontalgeschwindigkeit und den letzten fünf Metern (Matveyev, 1985) bzw. den letzten Anlaufschritten (Zissu, 1980; Fukashiro & Miyashita, 1983) vor dem Absprung, der Take-off-Position zum Hop (Zissu, 1980; Fukashiro et al., 1981) sowie zum Step (Zissu, 1980) und der Gesamtsprungweite. Hay & Miller (1985) und Brüggemann (1990) folgern andererseits, dass es, obwohl eine positive Gesamtkorrelation zwischen Anlaufgeschwindigkeit und Dreisprungleistung vorhanden ist, keine Evidenz in Elite-Athleten und in homogenen Kollektiven gibt.

Ausgewählte Ergebnisse der Geschwindigkeits-Indizes (CVP) und Time-Management (TM) Analysen von DreispringerInnen hohen (TJ_{Elite} : m: > 16.5 m; w: > 14 m) und mittleren (TJ_{Medium} : m: < 16.5m; w: < 14m) Leistungsniveaus zeigen, dass (vgl. Tabelle 1):

- sowohl männliche als auch weibliche Dreispringer ihr Geschwindigkeitsmaximum im Anlauf ~5 m vor dem Brett erreichen,
- die größte signifikante Abweichung für die Hop-Flugphase aufgrund längerer Hop-Distanz bei TJ_{Elite} zu finden ist,
- die höchsten Geschwindigkeitsverluste während der Hop-Step-Transition bei Athleten mittleren Levels (vor allem bei TJ_w) auftreten,
- die höchsten signifikanten Differenzen zwischen TJ_{Elite} und TJ_{Medium} für CVP Indizes im Anlauf und TOP_{Hop} sowie für TM Indizes im Anlauf (15-2m (m); 15-0m (w) vor Brett) und Hop-Step Transition zu finden sind.

Weitere Befunde von männlichen und weiblichen TJ weisen, vergleichend zu o.g. Literaturbefunden, signifikante Korrelationen (hauptsächlich bei TJ_{Elite}) zwischen Anlauf-Geschwindigkeits-Indizes (VI) und den letzten zwei Schritten vor dem Brett ($p \leq 0.05$) bzw. der effektiven Gesamtsprungweite (offizielle Distanz plus Abstand Fuß zum Brett) ($p \leq 0.001$) auf. Darüber hinaus sind signifikante Korrelationen zwischen TM Indizes und PD (negative Korrelationen mit Hop & Jump, positive mit Step) bzw. zwischen VI und PD (Signifikanz inter- und intraindividuell eher inkonsistent) feststellbar.

Tab. 1: Geschwindigkeits- und Time-Management-Profile des Anlaufs, der Übergangsphasen (Trans) und Absprungpositionen (TOP) zum Hop (H), Step (S) und Jump (J) von männlichen und weiblichen Dreispringern (TJ_{Elite} & TJ_{Medium}).

CVP	Anlauf					Brett	TOP _H	Trans	TOP _S	Trans	TOP _J
	15 m	10 m	5 m	2 m	1 m	0 m	+0.5 m	H-S	+0.5 m	S-J	+0.5 m
Niveau	v (m s ⁻¹)										
>16.5m	9.7±0.3	9.9±0.3	10.1±0.3	9.8±0.3	9.7±0.3	9.7±0.3	9.6±0.3	8.6±0.3	8.5±0.3	7.3±0.3	7.3±0.4
$TJ_m \Delta$	***2.1%↓	***2.3%↓	***2.7%↓	***2.1%↓	***2.7%↓	***2.9%↓	***2.5%↓	*1.4%↓	*1.6%↓	0.0%⇒	0.5%↓
≤16.5m	9.5±0.3	9.7±0.3	9.9±0.3	9.6±0.3	9.5±0.3	9.4±0.3	9.4±0.3	8.5±0.4	8.4±0.4	7.3±0.5	7.1±0.5
>14m	8.6±0.3	8.9±0.2	9.1±0.2	8.8±0.2	8.7±0.3	8.6±0.3	8.5±0.3	7.9±0.3	7.8±0.2	6.7±0.2	6.6±0.3
$TJ_w \Delta$	***4.9%↓	***4.9%↓	***4.86%↓	***4.0%↓	***3.8%↓	***3.5%↓	***3.8%↓	***5.5%↓	***5.5%↓	***2.7%↓	*2.1%↓
≤14m	8.2±0.4	8.4±0.3	8.7±0.3	8.5±0.3	8.3±0.3	8.3±0.3	8.2±0.3	7.5±0.4	7.4±0.4	6.5±0.3	6.4±0.4
TM	Anz. der Sprünge n=x	Anlauf				Brett	TOP _H	Trans	TOP _S	Trans	TOP _J
		15-10 m	10-5 m	5-2 m	2-1 m	1-0 m	0-0.5 m	0.5-H S	H S-0.5	0.5-S J	S J-0.5
Niveau	t (s)										
>16.5m	57	0.51±.0	0.50±.0	0.29±.0	0.10±.0	0.11±.0	0.05±.0	0.62±.0	0.06±.0	0.54±.1	0.07±.0
$TJ_m \Delta$		***2.4%↑	***2.5%↑	***3.2%↑	*1.6%↑	0.4%↑	1.54%↑	***5.5%↓	*2.8%↑	*4.3%↓	3.5%↑
≤16.5m	134	0.52±.0	0.51±.0	0.30±.0	0.10±.0	0.11±.0	0.05±.0	0.59±.1	0.06±.0	0.52±.1	0.07±.0
>14m	30	0.57±.0	0.56±.0	0.33±.0	0.11±.0	0.12±.0	0.06±.0	0.59±.0	0.07±.0	0.46±.0	0.08±.0
$TJ_w \Delta$		***5.0%↑	***5.1%↑	***5.0%↑	***3.42%↑	***5.16%↑	*3.34%↑	***8.5%↓	**4.7%↑	3.6%↓	2.2%↑
≤14m	127	0.60±.0	0.59±.0	0.35±.0	0.11±.0	0.12±.0	0.06±.0	0.54±.0	0.07±.0	0.45±.1	0.08±.0
ANOVA	p≤0.001***	p≤0.01**	p≤0.05*		↓ = verringert	↑ = gesteigert		⇒ = gleich			

Zusammenfassend waren die TM Profile der TJ_m und TJ_w ähnlich, zeigten aber im Vergleich von TJ_{Elite} zu TJ_{Medium} signifikante Differenzen im Anlauf und vom Hop zum Step. Der CVP-Verlauf war bei beiden Geschlechtern analog, allerdings mit interindividuell (Δ bis zu 5.5 %) und intraindividuell (Range: 0-5.5 %) variablen Befunden zu den VI. Die TJ_{Elite} erreichten höhere Geschwindigkeiten vor dem Brett aufgrund der Schrittlängengestaltung „lang-kurz“ (vorletzter und letzter Schritt vor dem Brett) sowie durch kurze Kontaktzeiten während der H-S-Trans. Horizontale Geschwindigkeitsverluste während der Absprungposition zum Hop, Step und Jump (Hay, 1992; Hay, 1999) waren bei den TJ_m (-1 m s⁻¹), u.a. aufgrund größerer Teilsprungweiten (Niessen et al., 2003), höher als bei den TJ_w (-0.7 m s⁻¹).

Insgesamt sorgen somit insbesondere eine hohe v_{max} , geringe horizontale Geschwindigkeitsverluste in der TOP_{Hop} und H-S-Trans durch kurzen und flachen Fußaufsatz für herausragende Leistungen im Dreisprung.

3.3 Schrittlängengestaltung vor dem Brett und Teilsprungprofile

Kinematische Analysen der Schrittlängengestaltung (vorletzter und letzter Schritt) vor dem Brett (SP) und der Teilsprünge verzeichnen ähnliche Befunde wie in der Literatur (e.g. Hay & Miller, 1985; Miller & Hay, 1986; Sušanka et al., 1987; Brüggemann, 1990; Brüggemann & Arampatzis, 1999; Hay, 1999).

Bei den nationalen TJ_m mit einer Sprungleistung < 17 m wurde im Vergleich zu Weltklasseleistungen vor dem Absprung zum Hop eine eher „kurz-länger“ oder „gleich-lang“ Schrittlängengestaltung beobachtet, bei den TJ_w mit einer Sprungleistung < 14 m eher annähernd „gleich lang“, wobei der letzte Schritt im direkten Vergleich in der Regel länger war.

Die Teilsprunganalyse der TJ_m zeigte, dass (Abbildungen 3 A und B):

- eff. Distanzen > 17 m mit Hop-Distanzen über 6 m kombiniert mit einem breitem Step-Distanzspektrum (Range: 4.6-5.4 m) erzielt werden können,
- Jump-Distanzen > 5.8 m (insbesondere > 6.2 m) zu Weltklasseweiten intendieren können.

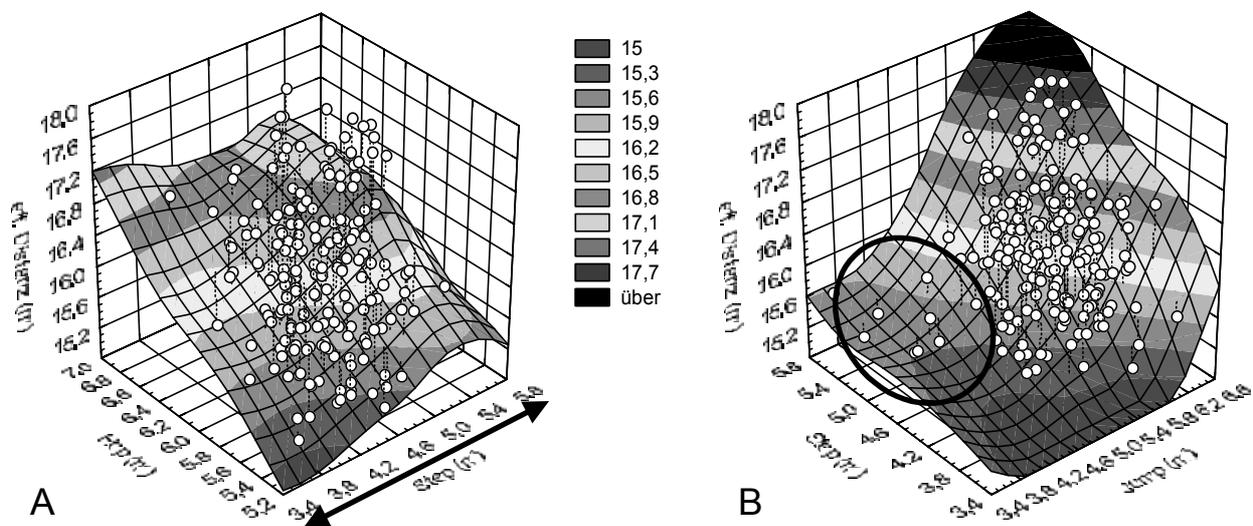


Abb. 3 3D-Flächenplots (distanzgewichtete kleinste Quadrate): Einfluss der Teilweiten Hop und Jump (A) bzw. Step und Jump (B) auf die effektive Gesamtsprungweite der TJ_m (> 15 m; $n = 191$).

Bei den TJ_w ließ sich bei absolut gesteigerten Hop- (> 5 m), Step- (> 3.8 m) und Jump-Distanzen (> 5 m) eine deutliche Tendenz zu Sprungleistungen über 14 m beobachten.

3.4 Breaks in Bewegungsmustern und Folgerungen für das Training

Insbesondere erfahrene Springer und Springerinnen zeigen immer wieder Breaks in ihren Bewegungsmustern. Die drei o.g. Technikvarianten bergen diverse Probleme physio-mechanischer Natur, so u.a.:

- zu hohe v_{max} → koordinative Schwierigkeiten in den Flugphasen; verhältnismäßig gesteigerte horizontale Geschwindigkeitsverluste vor allem im Step-Jump-Übergang durch geringe Knie- und Hüftwinkel,

- zu langer oder auch zu hoch eingesprungener Hop bei zu geringer v_{\max} → zu hohe Geschwindigkeitsverluste während der H-S und v.a. S-J Transition; extrem zu kurzer Jump (vgl. Abbildung 3 B Markierung),
- verstärkte rotatorische Instabilität v.a. im Hüft- und Schulterbereich → Probleme bei der Ausführung der „Twin-Arm“-Technik; verminderte Teilsprungdistanzen; absolute Geschwindigkeitsverluste überproportional zum S-J Trans gesteigert.

Durch die Visualisierungen und v.a. Geschwindigkeitsanalysen (Kap. 3.1-3.2) wurden vermehrt Korrektive und neue Methoden in das Training implementiert. Zu generellen bzw. markanten Folgerungen für das Training zählten u.a.:

- Sprinttraining (fliegende und supramaximale Läufe über 10-30 m) zur Verbesserung der v_{\max} ,
- Koordinationsschulung in Anlauf und Flugphasen, d.h. Reduktion translatorischer und rotatorischer Instabilitäten,
- Verringerung überdurchschnittlicher Knie- und Hüftbeugung im S-J Trans durch gezieltes, spezifisches Krafttraining bzw. Kräftigung der Rücken- und Bauchmuskulatur sowie der Muskulatur der unteren Extremitäten.

4 Fazit & Ausblick

Die Registrierung von Geschwindigkeitsprofilen (u.a. LavegDrei) und digitalen Videoaufzeichnungen stellen effektive prozessbegleitende Methoden zur Objektivierung und Visualisierung von Technikmerkmalen (e.g. StroMotion™, SimulCam™, Producer™, AdGraph) dar. Sinnvoll und schnell sind hiermit unterstützende Befunde zur Technikverbesserung und -steuerung, sowohl im Sprung- als auch Sprinttraining, verfügbar. Die Erfahrung der letzten zwei Jahre hat gezeigt, dass insbesondere während der Trainingslehrgänge bzw. -camps sowohl Trainer als auch Athleten sehr stark von den umfangreichen Analysen vor Ort profitierten. Beobachtungsbefunde konnten direkt in das Training implementiert werden.

Die zwischen 2002 und 2004 erhobenen Daten stellen eine erste Basis für extensive inter- und intraindividuelle Analysen und Vergleiche u.a. zur längsschnittlichen Sprung- bzw. Wettkampfstabilität dar.

5 Literatur

Brüggemann, G.-P. (1990). Biomechanical analysis of the triple jump: An approach towards a biomechanical profile of the world's best triple jumpers. In G.-P. Brüggemann & B. Glad (Eds), *International Athletic Foundation/International Amateur Athletic Federation Scientific Research Project at the Games of the XXIV Olympiad – Seoul 1988: Final Report* (S. 306-362).

- Brüggemann, G.-P. & Arampatzis, A. (1997). Triple Jump. In: H. Müller & H. Hommel (Hrsg.), *Biomechanical research Project at the VIth World Championships in Athletics 1997: Preliminary Report* (S. 43 ff). Aachen: Meyer & Meyer.
- Fukashiro, S.; Imoto, Y.; Koboyashi, H.; Miyashita, M. (1981) A biomechanical study of the triple jump. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 13, 233-237.
- Fukashiro, S. & Miyashita, M. (1983). An estimation of the velocities of three take-off phases in 18-m triple jump. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 15, 309-312.
- Hay, J.G. (1992). The biomechanics of the triple jump: A review. *J. Sports Sci.*, 10, 343-378.
- Hay, J.G. (1999). Effort distribution and performance of olympic triple jumpers. *J. Appl. Biomechanics*, 15, 36-51.
- Hay, J.G. & Miller, J.A. (1985). Techniques used in the triple jump. *Int. J. Sport Biomechanics*, 1, 185-196.
- Jürgens, A. (1998). Biomechanical investigation of the transition between the hop and the step. *New Studies in Athletics*, 13, 4, 29-39.
- Matveyev, A.E. (1985). Analysis of the push-off technique of the running triple jump. *Theor. Pract. Phys. Educ.*, 12, 5-6.
- Miller J.A. & Hay J.G. (1986). Kinematics of a world record and other world-class performances in the triple jump. *Int. J. Sport Biomechanics*, 2, 272-288.
- Niessen, M., Burgardt, K., Jürgens, A. & Hartmann, U. (2003). Visualisation of selected technical aspects in elite triple jumpers. In E. Müller, H. Schwameder, G. Zallinger & V. Fastenbauer (eds.), *Proceedings of the 8th Annual Congress of the European College of Sport Science, Salzburg 09th –12th July 2003* (S. 304). Salzburg.
- Niessen, M., Jürgens, A., Unger, J., Burgardt, K. & Hartmann, U. (2004). Time management and velocity profiles in elite triple jumping. In E. van Praagh, J. Coudert, N. Fellmann, & P. Duché (eds.), *Proceedings of the 9th Annual Congress of the European College of Sport Science, Clermont-Ferrand 03rd–06th July 2004* (S. 336). Clermont-Ferrand.
- Perttunen, J., Kyröläinen, H., Komi, P. & Heinonen, A. (2000). Biomechanical loading in the triple jump. *J. Sports Sci.*, 18, 363-370.
- Ogandzanov, A., Cesnokov, N. & Ter-Avanesov, E.M. (2003). Skorostnye vozmoznosti prygunov i ich realizacija v razbege. *Teorija i praktika fiziceskoj kul'tury*, 9, 24-26.
- Sorenson, S. (1997). *1995 World Track & Field Championships, Göteborg, Sweden: Men's triple jump comparative horizontal speed retention analysis*. Unpublished report.
- Sušanka, P., Jurdik, M., Koukal, J., Krátký, P. & Velebil, V. (1987). Biomechanical analysis of the triple jump. In G.-P. Brüggemann & P. Sušanka (eds.), *International Athletic Foundation Scientific Report on the 2nd World Championships in Athletics, Rome 1987* (F1-67). Rome.
- Zissu, M. (1980). *Mechanical characteristics of the triple jump*. unpublished master thesis (Quelle: Hay, 1992).

- Yu, B. (1999). Horizontal-to-vertical velocity conversion in the triple jump. *J. Sports Sci.*, *17*, 221-229.
- Yu, B. & Hay, J.G. (1995). Angular momentum and performance in the triple jump. *J. Appl. Biomechanics*, *11*, 81-102.
- Yu, B. & Hay, J.G. (1996) Optimum phase ratio in the triple jump. *J. Appl. Biomechanics*, *29*, 10, 1283-1289.

