

Integration eines neuen Stemmbretts in die biomechanische Diagnostik im Rennboot zur Leistungs- und Technikansteuerung im Hochleistungstraining (HLT)

(AZ 071605/10)

Klaus Mattes

Universität Hamburg, Abteilung Bewegungs- und Trainingswissenschaft

Problemstellung

Das MMS 2000 hat sich seit seiner Einführung 2000 zu einem wichtigen Bestandteil in der Vorbereitung der Rudernationalmannschaften für die internationalen Wettkampfhöhepunkte (Weltmeisterschaften, Olympische Spiele) entwickelt. Zu den gegenwärtigen Stärken des Systems zählen:

- die Erfassung von Ruderleistung und Rudertechnik unmittelbar im Rennboot der Athletinnen bzw. Athleten, in allen Bootsklassen und unter allen typischen Wettkampf- und Trainingsbedingungen, wie z. B. das Messen von Achterbesatzungen bei internationalen Rennen.
- das Feedbacktraining mit Synchroninformation für den Ruderer bzw. die Ruderin und den Trainer bzw. die Trainerin.
- die hohe trainingspraktische Relevanz der generierten Mess- und Testdaten; die Aussagen reichen von Hinweisen zur Steuerung der individuellen Ruderleistung und -technik bis zu Empfehlungen für die Formierung von Bootsbesatzungen.

In Auswertung der Messserie 2009 wurde jedoch eingeschätzt, dass die bisherige Stemmbrettkraftmessung nicht mehr den Anforderungen an die Leistungsdiagnostik und das Feedbacktraining entspricht. Einschränkungen ergaben sich aufgrund der hohen zusätzlichen Gewichtsbelastung des Bootes, der unzureichenden Messgenauigkeit und unbefriedigend für das Riemenrudern wurden die Stemmbrettkräfte nicht für das linke und rechte Bein getrennt erfasst. In 2010 wurden neue leichtere Stemmbrettkraftsensoren in die KLD eingeführt, die die Kräfte getrennt für das linke und rechte Bein registrieren.

Nach einer ersten Pilotuntersuchung (Mattes, 2010) war es ein zusätzlicher Schwerpunkt im Rahmen dieses Betreuungsprojekts, die unterschiedliche Kraftabgabe von Innen- und Außenbein im Riemenrudern weiterführend zu untersuchen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass aufgrund der Drehbewegung des Riemens und der tangentialen Krafteinleitung am Innenhebel eine unterschiedliche Belastung von Innen- und Außenbein am Stemmbrett im Riemenrudern resultiert. Im Vordergrund werden das Innenbein, aber im Mittel- und Endzug das Außenbein stärker belastet.

Methode

Die Untersuchungen 2010 umfassten A-Kader bzw. in einigen Fällen (beispielsweise zur Vervollständigung der Bootsbesetzung) auch B- und C-Kader der Skull- und Riemenbootklassen. Insgesamt wurden 61 Messfahrten zur komplexen Leistungsdiagnostik (KLD) sowie 57 Feedbackfahrten mit parametergestütztem Techniktraining durchgeführt.

Zur KLD wurde das „Mobile Mess- und Trainingssystem 2010“ (MMS 2010) des Instituts FES (Mattes, 2010) und zum Feedbacktraining das Processor Coach System-3/ Sportler (PCS-3/S) mit direkter Anzeige der Messgrößen beim Rudern im Rennboot verwendet (Mattes & Böhmert, 2002). Das Messsystem liefert als Messgrößen:

- das Riemenbiegemoment (Biegefeder mit DMS am Innenhebel),
- den Ruderwinkel (Magnetfeldsensor auf dem Dollenstift befestigt und per Gummifaden mit dem Innenhebel verbunden,)
- die Stemmbrettkräfte (neue Scherkraftsensoren mit Dehnungsmessstreifen montiert an den Stemmbretthalterungen) getrennt für das Innen- und Außenbein,
- den Rollsitzzweg (Wegaufnehmer auf der Rollbahnschiene befestigt),
- die Bootsbeschleunigung (2g DMS-Beschleunigungsaufnehmer) (Böhmert, 2009).

In Absprache mit dem Cheftrainer und den verantwortlichen Bootstrainern kamen je nach Zielstellung der Diagnostik unterschiedliche Testmethoden zur Anwendung:

- kombinierter Schlagfrequenzstufen-, Wettkampftest,
- Wettkampftest über verschiedene Distanzen bis 2000 m,
- Feedbacktraining mit dem Prozessor Coach System.

Für die zusätzliche Untersuchung der Stemmbrettkräfte wurden Messdaten von Kaderathletinnen ausgewählt, die sowohl im Achter (8+) als auch im Zweier ohne (2-) getestet wurden (A-B-Kader, N = 6, Körperhöhe = $1,82 \pm 0,06$ m, Körpermasse = $75,0 \pm 5,7$ kg). Die Messungen der Frauen im Zweier ohne (2-) erfolgten über ein 2000-m-Rennen innerhalb der Kölner Ruderregatta (12.4.2010) wobei die Mannschaften gegeneinander antraten. Die Messungen der Frauen im Achter (8+) erfolgten über 1000-m-Rennen in Dortmund (6.5.2010).

Die Merkmalsstichprobe umfasste als unabhängige Variablen die Kraftabgabe am Stemmbrett der Ruderinnen in den beiden Bootsklassen und in den Ruderrennen sowie als abhängige Variablen die Stemmbrettkräfte im Durchzug und in den Teilphasen Vorder-, Mittel- und Endzug getrennt für das Innen- und Außenbein.

Zur statistischen Auswertung wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor Bein (Innenbein versus Außenbein) und dem Zwischensubjektfaktor Bootsklasse (8+ und 2-) gerechnet.

Ergebnisse

Bei der Leistungsdiagnostik erfolgte eine Spätinformation nach dem Test. Je nach Bootsklasse (1x- bis 8+) lagen die Testergebnisse ein bis zwei Stunden nach Testdurchführung durchweg als metrische Daten auf proportionalem Skalenniveau vor. Durch die Kombination grafischer Darstellungen mit ausgewählten rudertechnischen Kennwerten in Tabellenform konnten sowohl der qualitative Verlauf rudertechnischer Kennlinien als auch die quantitative Ausprägung von Merkmalen der Ruderleistung und Rudertechnik eingeschätzt und beurteilt werden. Um das Verständnis der Athleten für die Messwerte und die Transformation in Trainingsempfehlungen zu unterstützen, wurden die Testergebnisse mit dem Video über eine spezielle Auswertungs- und Darstellungssoftware präsentiert. Die Erläuterung der Testergebnisse erfolgte in gemeinsamen Gesprächen mit den verantwortlichen Trainern und Sportlern. Im Mittelpunkt standen die Zusammenhänge zwischen dynamischer und kinematischer Struktur der Ruderbewegung sowie die äußerlich sichtbare Rudertechnik und deren Wirkung auf Bootsgeschwindigkeit und Bootsdurchlauf. Darauf aufbauend wurden Schwerpunkte für das Technik- und Konditionstraining sowohl für den einzelnen Ruderer als auch für die Bootsbesatzung abgeleitet.

Mit dem Feedbacksystem können verschiedene Merkmale der Rudertechnik in kurzer Zeit (1-3 Trainingseinheiten), wie die Schlagweite, die Gestaltung der vorderen und hinteren Bewegungsumkehr, die Kraft- und Bewegungskopplung im Durchzug, das widerstandsarme Vorrollen etc., erfolgreich angesteuert werden.

Die zusätzliche Auswertung der Stemmbrettkräfte zeigte, dass der Faktor Bein (IB versus AB) einen höchst signifikanten Haupteffekt mit großer Effektstärke auf die Stemmbrettkräfte im Durchzug sowie im Mittel- und Endzug ausübte (Tab. 1). Eine signifikante Wechselwirkung von Bein und Bootsklasse bestand nicht.

Tab. 1. *Einfluss des Faktors Bein (Innen- und Außenbein) auf die Stemmbrettkräfte (F_s) im Durchzug, F-Wert der Varianzanalyse, Frauen, N = 6*

Faktor	Kennwert	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Bein (Innen- versus Außenbein)	F_{SD}	15,67	0,003	0,610
	F_{SVZ}	2,93	0,118	0,226
	F_{SMZ}	49,34	0,000	0,831
	F_{SEZ}	20,36	0,001	0,671

Unabhängig von der Bootsseite (Back- oder Steuerbord) und von der Bootsklasse (8+ und 2-) waren die Stemmbrettkräfte des Außenbeins im Durchzug größer, wobei sich jedoch die Anteiligkeit veränderte. Mit Schlagbeginn wurden größere Stemmbrettkräfte des Innenbeins gemessen, danach überstiegen die Kräfte des Außenbeins die des Innenbeins. Im Mittel- und Endzug waren die Stemmbrettkräfte des Außenbeins signifikant größer als die des Innenbeins (Tab. 2). Der Ruderwinkel beim Schnittpunkt der Stemmbrettkräfte von Innen- und Außenbein im Durchzug lag individuell unterschiedlich im Intervall zwischen 47 und 80°.

Tab. 2. Vergleich der Stemmbrettkräfte zwischen Innen- (IB) und Außenbein (AB), mittlere Differenzen \pm Standardabweichung ($F_{AB}-F_{IB}$), T-Werte des gepaarten T-Tests, Frauen, $N = 6$

Faktor	Kennwert	IB	AB	$F_{AB}-F_{IB}$ [N]	T-Wert	Signifikanz
2-	F_{SD}	131 \pm 37	172 \pm 23	41 \pm 34	-2,91	0,03
	F_{SVZ}	219 \pm 49	209 \pm 38	-10 \pm 36	0,70	0,52
	F_{SMZ}	106 \pm 53	196 \pm 59	90 \pm 50	-4,41	0,01
	F_{SEZ}	5 \pm 22	65 \pm 38	60 \pm 40	-3,62	0,02
8+	F_{SD}	152 \pm 30	172 \pm 27	20 \pm 15	-3,21	0,02
	F_{SVZ}	239 \pm 36	221 \pm 25	-18 \pm 17	2,57	0,05
	F_{SMZ}	141 \pm 46	198 \pm 42	57 \pm 12	-11,83	0,000
	F_{SEZ}	27 \pm 18	64 \pm 29	37 \pm 34	-2,70	0,04

Diskussion

Die Ergebnisse verifizierten die Ausgangsüberlegung, dass beim Riemenrudern zwischen Innen- und Außenbein eine unterschiedliche Belastung im Durchzug auftritt. Mit Durchzugsbeginn und im Bereich des Vorderzuges dominieren die Stemmbrettkräfte des Innenbeins, die des Außenbeins. Danach werden höhere Kräfte des Außenbeins im Mittel- und Endzug gemessen. Der Wechsel von stärkerer Innenbeinbelastung im Vorderzug auf erhöhte Belastung des Außenbeins im Mittel- und Endzug trat individuell bei verschiedenen Ruderwinkeln im Vorderzug, aber auch zu Beginn des Mittelzuges auf. Die Untersuchungsergebnisse decken sich mit den Befunden der Pilotstudie, die an Hamburger Kaderathleten in Kleinbooten (2-) durchgeführt wurden (Mattes, 2010) und mit Angaben aus der Literatur. Das unterschiedliche Kraftverhalten von Innen- und Außenbein wurde bereits von einigen Autoren beschrieben (Asami et al., 1978; Buchmann, 1978). Diese Ergebnisse unterstreichen die praktische Relevanz der getrennten Messung der Stemmbrettkräfte zwischen Innen- und Außenbein.

Nach den bisherigen Erfahrungen sollte die Stemmbrettkräfte des Innenbeins im Durchzug mindestens ca. 45 %, im Vorderzug ca. 55 %, im Mittel- und Endzug ca. 45 % der gesamten Stemmbrettkraft betragen. Wenn im Durchzug der Anteil der Stemmbrettkräfte des Innenbeins kleiner als 45 % ausfällt, dann werden die Kräfte dieses Beines nicht hinreichend für die Leistungsabgabe genutzt.

Die getrennte Messung der Stemmbrettkräfte für das linke und rechte Bein sollte für das Riemenrudern in die Routinediagnostik übernommen werden. Für die aktuell verwendeten Stemmbrettkraftsensoren dürfen aufgrund der Messgenauigkeit nur der qualitative Verlauf der Stemmbrettkraft-Kurven und als quantifizierte Kennwerte der relative Anteil der Bootsseiten an der Gesamtstembrettkraft genutzt werden. In der Routinediagnostik sollten die Parameterverläufe (Kennlinien) sowie die Kennwerte der mittleren Stemmbrettkräfte für den Durchzug und die Teilphasen Vorder-,

Mittel- und Endzug in Prozent der Stemmbrettsummenkraft getrennt für das Innen- und Außenbein als Ziffern dargestellt werden. Einen weiteren charakteristischen Kennwert der bootsseitigen Kraftabgabe bildet der Ruderwinkel beim Schnittpunkt der Stemmbrettkräfte von Innen- und Außenbein. Auch dieser Kennwert sollte in die Routinediagnostik aufgenommen werden.

Literatur

- Asami, T., Adachi, N., Yamamoto, K., Ikuta, K. & Takahashi, K. (1978). Biomechanical analysis of rowing skill. Paper presented at the Biomechanics VI-B, *Proceedings of the Sixth International Symposium on Biomechanics*.
- Böhmert, W. (2009). *Projektbeschreibung Rudermesssystem des Instituts FES*. Projektbeschreibung für das BISp. Berlin: FES
- Buchmann, R. (1978): *Theoretische und empirische Grundlagen der sporttechnischen Leistungsentwicklung im Rudern*. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Mattes, K. (2010). *Forschungsbericht zur Erprobung der neuen Stemmbrettkraftsensoren 2009*, Universität Hamburg.
- Böhmert, W. & Mattes, K. (2003). Biomechanische Objektivierung der Ruderbewegung im Rennboot. In W. Fritsch (Hrsg.), *Rudern - erfahren, erkunden, erforschen* (S. 163-172). Gießen: Wirth-Verlag (Sport Media).
- Mattes, K. & Böhmert, W. (2002). Feineinstellung der sportlichen Technik durch Messplatztraining. In *Messplatztraining*. 5. Gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft vom 19.-21.9. 2002 in Leipzig.