

Diss. ETH Nr. 6507

LEISTUNGSANALYSE BEI RUDERMANNSCHAFTEN

Biomechanische Analyse der Leistung von
Mannschaften im Zweier ohne Steuermann durch
telemetrische Messungen während des Ruderns.

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

ERICH SCHNEIDER

Dipl. El.-Ing. ETH

geboren am 6. Juli 1949
von Zell (Kanton Zürich)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. G. Busch, Referent
Prof. Dr. M. Anliker, Korreferent

1980

G. Busch

3.9.80.

5. Zusammenfassung

Zur Beurteilung von Rudermannschaften wurden bisher die Leistungen verwendet, die in sportmotorischen und ergometrischen Tests erbracht wurden. Einzelne Größen, die während Versuchen im Ruderbecken oder im Boot gemessen wurden, fanden ebenfalls Verwendung. Zur Beurteilung der Leistung einer Mannschaft ist jedoch die im fahrenden Boot erbrachte Leistung aussagekräftig. Es wurde deshalb eine Methode zur Messung der Leistung im fahrenden Boot entwickelt. Dabei wurden die von jedem Ruderer über das Ruder ins Wasser gebrachte Gesamtleistung und die für den Vortrieb wirksame Teilleistung bestimmt. Anhand von Messungen wurden dann ein Leistungsvergleich zwischen Ergometer und Boot durchgeführt, der Anteil der Vortriebsleistung an der Gesamtleistung für jeden Ruderer bestimmt, zwei ausgewählte Tests zur Voraussage der Bootsleistung überprüft, der Beitrag einzelner Ruderer zur Gesamtleistung der Mannschaft bestimmt und der Einfluß des Ruderstils auf die Leistung im Boot untersucht.

Das Meßsystem besteht aus den Aufnehmern im Ruderboot, der telemetrischen Datenübertragungsstrecke, der Empfangs- und Speichereinheit an Land sowie dem Computer des Rechenzentrums an der ETH zur Verarbeitung der Meßdaten. Im Ruderboot wurde die Kraft auf das Ruderblatt mit Hilfe von Dehnmeßstreifen auf dem Schaft des Ruders gemessen. Die Erfassung des horizontalen Winkels des Ruders erfolgte mit einem Gummifadengoniometer, das auf den Drehpunkt der Dolle (Halterung des Ruders) montiert wurde. Die Geschwindigkeit wurde mit einem Flügelrad, das am Schwert befestigt wurde, gemessen. Alle Transducer wurden jeweils für einen Versuch in das eigene Boot der untersuchten Mannschaft eingebaut. Die zur Datenübertragung verwendete 7-Kanal Telemetrieanlage übernahm gleichzeitig die Speisung der Transducer. Über separate EKG-Telemetrieanlagen wurde die Herzfrequenz der Ruderer übertragen. Die Auswertung der Meßdaten erfolgte mittels eines leistungsfähigen Analyseprogramms, das in der Lage ist, Übertragungsartefakte weitgehend zu erkennen und deren Einfluß zu eliminieren. Dieses Programmpaket detektiert zuerst aus dem Kraft-Zeit-Verlauf die zeitliche Struktur der Ruderschläge und bestimmt anschließend neben der Leistung eine ganze Reihe von weiteren für eine Analyse maßgebenden Größen.

Die Messungen wurden während einer Woche im Oktober 1977 am Rotsee Luzern mit 12 Schweizer Rudermannschaften im Zweier ohne Steuermann durchgeführt. Es handelte sich sowohl um Eliteruderer von internationalem Format als auch um Junioren. Das Programm umfaßte einen sportmotorischen Test mit den Bestandteilen Rohkraft und Kraftausdauer je für die Arm- und Beinmuskulatur, einen Test für Maximalbelastung über 6 min. auf dem Ruderergometer und ein Rennen

gegen die Uhr über die Regattadistanz. Sämtliche Meßdaten wurden kontinuierlich übertragen und aufgezeichnet. Ausgewertet wurden jeweils zehn aufeinanderfolgende Schläge zu Beginn jeder Minute. In einer Distanz von etwa 800 m vor dem Ziel wurde mit einer Filmkamera mit 100 Bildern/s ein vollständiger Schlag gefilmt und mit einem Filmanalysegerät ausgewertet.

Es konnte gezeigt werden, daß der Verlauf der Leistung auf dem Ergometer den wirklichen Verhältnissen im Boot sehr nahekommt. Das für den Test verwendete Ruderergometer ist deshalb für Leistungsmessungen unter Regattabedingungen sehr gut geeignet. Es wurde festgestellt, daß die mittlere Leistung eines Ruderers auf dem Ergometer – vorausgesetzt die Belastung seines kardiorespiratorischen Systems ist gleich groß – mit der mittleren Leistung im Boot übereinstimmt. Der viel allgemeinere, aber immer noch auf die Ruderbewegung ausgerichtete, sportmotorische Test hingegen ergab einen deutlich geringen Zusammenhang zur Bootsleistung. Dabei zeigte sich, daß weder die Rohkraft der Arm- noch der Beinmuskelgruppen mit der Bootsleistung korrelierten. Der Umstand, daß hingegen die Kraftausdauer vor allem der Armmuskelgruppen einen Zusammenhang ergab, deutet darauf hin, daß der Aspekt der Ausdauer beim Rudern wesentlicher ist als die Rohkraft.

Es wurde festgestellt, daß von der gesamten Leistung, die ein Ruderer im Wasser erzeugt, im Durchschnitt etwa 80% für den Vortrieb eingesetzt werden können. Dieser Prozentsatz ist bestimmt durch den Arbeitsbereich des Ruders und die Geschwindigkeit des Bootes. Zwischen den Ruderern in derselben Mannschaft wurden betragsmäßige Unterschiede in der Leistung festgestellt, wobei aber keine Gesetzmäßigkeit gefunden werden konnte, wonach der Schlagmann oder der Bugmann höhere Leistungen erzeugt. Im weiteren wurde gezeigt, daß innerhalb einer Mannschaft die zeitliche und örtliche Synchronisation eine Rolle spielen. Gute Mannschaften zeigen in beiden Fällen Unterschiede zwischen den Ruderern.

Aus den Filmaufnahmen wurden der Rollweg, der Kniewinkel, der Oberkörperwinkel und der Armweg mit der momentanen Leistung im Boot verglichen. Es ergab sich, daß vor allem die Rolldistanz während des Durchzugs und der Kniewinkel im Einsatz leistungsbestimmend sind. Bei den übrigen Größen ergab erst eine detailliertere Betrachtungsweise, bei der der Durchzug in einzelne Phasen unterteilt wird, einen Zusammenhang zwischen der Leistung und den Teilbewegungen von Beinen, Armen und Oberkörper in diesen Phasen. Im Hinblick auf den zeitlichen Verlauf der Kraftkurve kann festgehalten werden, daß ein kontinuierlicher Verlauf der Kraftkurve ohne Zwischenmaxima im Durchschnitt größere Leistung ergibt. Auftretende Zwischenmaxima konnten mit mangelhafter Koordination der Hauptmuskelgruppen erklärt werden. Ein Vergleich zwischen DDR- und ADAM-Stil, definiert nach der Länge des Rollwegs im Durchzug und dem Kniewinkel beim Einsatz, ergab leicht höhere Leistungen bei Ruderern des DDR-Stils.

Es hat sich gezeigt, daß diese Methode verwendet werden konnte, um die Leistung sowie die Vortriebsleistung einzelner Ruderer zu bestimmen, die leistungsbestimmenden Größen festzulegen und den Einfluß des Ruderstils zu erfassen.

6. Abstract

The results of general tests for motor performance or tests on ergometers have been used up till now as a basis for determining the qualifications of rowing crews. Some parameters, measured during tests in the rowing pool or in the boat, have also been used for this purpose. However, the most important parameter in evaluating a crew is the physical power produced during rowing. Therefore, a method has been developed to measure the power of each member of a crew during actual rowing. The physical power produced during the pull phase (movement of the oar through the water) and the fraction of this power used for propulsion are determined. By means of these measurements 1) the power measured on the ergometer and in the boat have been compared, 2) the propulsive power of each oarsman has been determined as a percentage of the total power, 3) two selected tests have been investigated as predictors of power in the boat, 4) the contribution of each oarsman to the total power of the crew has been determined and 5) the relationship between style and performance has been investigated.

The measuring system consists of the transducers in the rowing shell, the data transmission system, the receiving and storage units on the shore and the computer at the computer center of the Federal Institute of Technology. In the racing shell, the forces on the blades of the oars are measured by four strain gauges attached to the outboard part of the oar. The horizontal angles of the oars are measured by rubber-band goniometers, mounted on the pins of the oar locks. The velocity of the boat is measured by a turbine wheel, mounted on the center-board. All the transducers are installed in the own boat of each tested crew. The seven-channel telemetry equipment used for data transmission served, at the same time, as power supply for the transducers. The heart rates of the oarsmen were measured using separate ECG-transmitters. The computations were performed by a specially designed program which is able to detect artefacts from the transmission and to eliminate their influence. This program package detects the temporal structure of the strokes from the force-time history and calculates the power as well as many other parameters useful for detailed analysis.

Measurements were performed during one week in October 1977 at Rotsee Lucerne with 12 Swiss crews in coxless pairs. Athletes of international caliber as well as juniors were among the tested oarsmen. The program included a test for motor performance, a test for maximum load on the rowing ergometer and a race against the clock over the race distance. All data measured during the test in the boat were transmitted continuously and recorded. Ten consecutive strokes at the beginning of each minute were analysed. At a distance of approximately 800 m from the end of

the race an entire stroke was filmed at a rate of 100 fps and analysed with the help of a film analysing system.

Results showed that the course of the power on the ergometer approximates the conditions in the boat very well. The rowing ergometer used in this test therefore is very well suited to measure power in a situation comparable to a race. It was found, that the mean power on the ergometer — assuming the same load of the cardiorespiratory system — is equivalent to the mean power in the boat. A more general test for motor performance, especially designed to simulate the movements of oarsmen, showed less correlation with power in the boat than did the test on the ergometer. It was found that the strength of neither arms nor legs correlated well with the power in the boat. The finding, however, that the endurance of the arms correlated well with the power in the boat suggests that endurance is more important in rowing than is strength.

On average, 80 % of the total power produced by an oarsman under race conditions could be used for propulsion. This percentage depends on the angular displacement of the oar during the pull phase and the velocity of the boat. Differences in the power of the two rowers in the same crew were found to be up to 20 %. There appears, however, to be no general rule indicating a higher amplitude for the man at bow or at stern. It could be shown, that temporal and spatial synchronisation is important in a crew. Good crews have small differences between the two oarsmen in both respects.

From the film analysis, the distance travelled by the rolling seat, the angle of the knee, the angle of the upper body and the displacement of the arms were evaluated in terms of the instantaneous power in the boat. It was found, that the displacement of the rolling seat during the pull phase and the angle of the knees at catch were limiting the performance.

Intraindividual relationships could be shown between power and movements of legs, upper body and arms in subdivisions of the pull phase. With regard to the shape of the force-time curve, it was found that a „continuous“ shape without intermediate maxima resulted in higher power. Intermediate maxima could be explained by poor coordination between the main muscle groups (arms, upper body, legs). A comparison between the DDR- and ADAM-styles, defined by the magnitude of the displacement of the rolling seat and the angle of the knees at catch, showed slightly higher power in oarsmen using the DDR-style.

It could be shown that the methods developed in this investigation could be used to determine physical power and fraction of power useful for propulsion for each member of a rowing crew, to identify factors limiting performance and to describe the influence of different rowing styles.