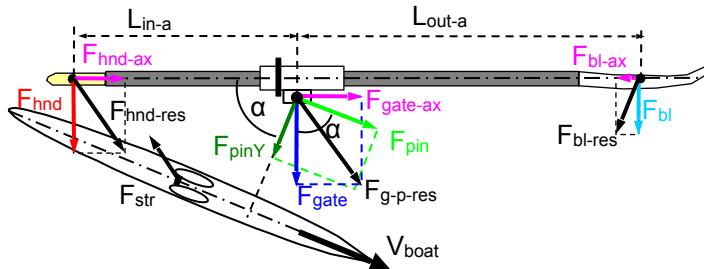


Frage & Antwort

F: Wir haben mehrere Fragen erhalten, die sinngemäß lauten: "Was ist der Unterschied zwischen den Kraftmessungen am Ruder und an der Dolle/Dollenstift? Welche Methode ist die genaueste?"

A: Wir haben bereits einige Für und Wider der Winkelmessungen am Ruder und an der Dolle diskutiert (RBN 2003/05). Ähnlich, wie der Winkel, kann auch die Kraft am Rudergriff, am Ruderblatt, an der Dolle oder am Dollenstift gemessen werden.



Diese Methoden haben die folgenden Merkmale:

1. Die Griffkraft F_{hnd} kann mit direkt auf den Ruderschaft aufgebrachten Dehnmessstreifen oder abnehmbaren Sensoren rechtwinklig zur Richtung des Ruders gemessen werden. Der Sensor misst die Durchbiegung des Ruders, die proportional zum Drehmoment M oder dem Kraftmoment F_{hnd} ist, und das als eine Kraft, die an einem bekannten Punkt am Griff angreift, kalibriert werden kann. Die Leistungserbringung P des Ruderers kann dann wie folgt abgeleitet werden:

$$P = M * \omega = F_{hnd} * L_{in-a} * \omega \quad (1)$$

wobei L_{in-a} der aktuelle Innenhebel ist, ω ist die Winkelgeschwindigkeit des Ruders, die von den Messungen des horizontalen Ruderwinkels abgeleitet werden kann. In diesem Falle wird die berechnete Leistung nicht von dem Punkt, wo die Kraft des Ruderers ansetzt, beeinflusst, weil er unbekannt ist und zudem, insbesondere beim Riemenrudern, signifikant variieren kann. Deshalb hat die genaueste Methode zur Messung der Ruderleistung einen geschätzten Fehler von 1%. Das praktische Problem bei dieser Methode ist die Notwendigkeit, daß jedes Ruder einzeln kalibriert werden muß, was aber mit moderner Technologie gelöst werden kann (1).

Die resultierende Kraft $F_{hnd-res}$, die der Ruderer an den Griff anbringt, ist nicht immer rechtwinklig zur Achse des Ruders. Deshalb kann sie in eine rechtwinklige F_{hnd} und eine axiale F_{hnd-ax} Komponente zerlegt werden. Letztere ist recht schwierig zu messen, und sie erzeugt keine mechanische Leistung am Ruder. Sie wird statisch durch den Ruderschaft übertragen und erzeugt eine axiale Kraft an der Dolle $F_{gate-ax}$, welche die Summe der Vektoren F_{hnd-ax} und axialer Kraft am Blatt F_{bl-ax} ist. Dann wird die axiale Kraft $F_{gate-ax}$ durch die Dolle, Dollenstift und Ausleger übertragen und statisch mit der Stemmbrettkraft F_{str} ausbalanciert. Deshalb sollte ein Ruderer nur eine kleine axiale Kraft aufwenden, um den Klemmring an der Dolle

zu halten, und am Griff so rechtwinklig wie möglich zu ziehen.

Die rechtwinklige Komponente der Blattkraft F_{bl} kann mit der gleichen Methode, wie sie oben für die Griffkraft beschrieben wurde, gemessen werden, und produziert dieselbe Genauigkeit bei der Berechnung der Leistung des Ruderers.

2. Die Dolle rotiert zusammen mit dem Ruder und die rechtwinklige F_{gate} und axiale F_{bl-ax} Komponente der Dollenkraft kann im Referenzrahmen des Ruders mit verschiedenen Meßdollen gemessen werden (2, 4). Die Leistung des Ruderers kann mit Gleichung 1 abgeleitet werden, aber F_{hnd} muss folgendermassen berechnet werden:

$$F_{hnd} = F_{gate} * ((L_{in-a} + L_{out-a}) / L_{out-a}) \quad (2)$$

wobei L_{out-a} die aktuelle Außenhebellänge vom Dollenstift zur Mitte der Blattkraft ist. Wir kennen nicht genau L_{in-a} und L_{out-a} , weil die aktuellen Punkte, wo die Kraft angreift, nicht bestimmt werden können. Wir können nur annehmen, daß sie sich in der Mitte von Blatt und Griff befinden. Der geschätzte Fehler bei dieser Methode zur Berechnung der Leistung kann bis zu 5% betragen. Die Summe der normalen F_{gate} und axialen $F_{gate-ax}$ Komponente ist die resultierende Dollenkraft $F_{g-p-res}$, die auf den Dollenstift übertragen wird.

3. Der Dollenstift ist relativ zum Boot fixiert und der Dollenstiftsensor mißt die Kraft im Referenzrahmen des Bootes (3). Normalerweise mißt er nur die Komponente parallel zur Bootslängsachse F_{pin} der resultierenden Dollen-Dollenstiftkraft $F_{g-p-res}$. Die Leistung des Ruderers kann mit den Gleichungen 1 und 2 abgeleitet werden, wie auch immer, die Dollenkraft F_{gate} muß wie folgt abgeleitet werden:

$$F_{gate} = F_{pin} * \cos \alpha \quad (3)$$

Tatsächlich kann mit dieser Methode nur ein Teil der Krafterzeugung des Ruderers gemessen werden (z.B. nur die Hälfte bei einem Auslagewinkel von -60° , da $\cos(60^\circ) = 0.5$). Die Messungen werden auch von der axialen Dollenkraft $F_{gate-ax}$ beeinflusst, die keine Leistung erzeugt, wie oben gezeigt wurde. Der geschätzte Fehler bei der Berechnung der Leistung des Ruderers beträgt 10% beim Skullen und bis zu 20% beim Riemenrudern (siehe Anhänge). Die Genauigkeit kann mit 2D-Sensoren für die Dollenstiftkraft verbessert werden, die auch die zum Boot rechtwinklige Komponente F_{pinY} messen. In diesem Falle würde die Genauigkeit mit der der Dollenkraftsensoren übereinstimmen: die Größe und Richtung der resultierenden Kraft $F_{g-p-res}$ kann bestimmt und dann die rechtwinklige Komponente F_{gate} mit dem bekannten Dollenwinkel α abgeleitet werden.

Die Situation mit der Genauigkeit ist entgegengesetzt, wenn der Zweck der Berechnungen auf das Kräftegleichgewicht im Bootskörper ausgerichtet ist, was das Ziel in einigen wissenschaftlichen Untersuchungen sein kann.

Normalerweise wird in diesen Studien die Stemmbrettkraft F_{str} gemessen und die Vortriebskraft F_{prop} kann für jeden Ruderer abgeleitet werden:

$$F_{prop} = F_{pin} - F_{str} \quad (4)$$

Wenn die Kraft am Griff gemessen wird, dann muß F_{gate} von F_{hnd} mit Gebrauch von L_{in-a} und L_{out-a} und F_{pin} , die wir vom Ruderwinkel α bekommen, abgeleitet werden. In diesem Falle ist die Messung der Dollenstiftkraft F_{pin} die genaueste Methode, und die Berechnungen aus den Messungen von F_{hnd} können einen Fehlerbereich von bis zu 20% beim Riemenrudern erreichen.

Referenzen

1. BioRow Ltd. BioRowTel telemetry system. http://www.-biorow.com/PS_files/BioRowTel.pdf
2. Kleshnev V. 1988. Device for power measurement in rowing. SU Patent 1650171.
3. Peach Innovations Ltd.. PowerLine Rowing Instrumentation system. www.peachinnovations.com
4. WEBA Sport. RowX Outdoor. www.weba-sport.com/weba/rowx_outdoor.html

Contact Us:

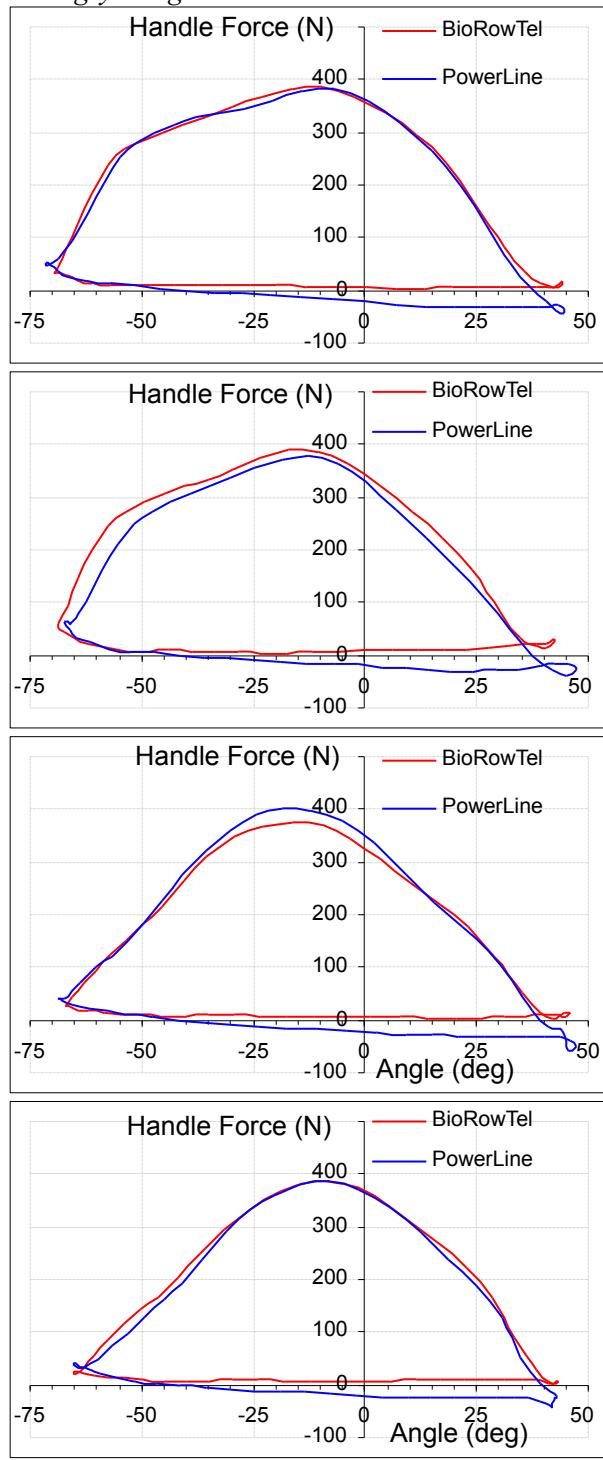
✉ ©2010: Dr. Valery Kleshnev,
klevval@btinternet.com , www.biorow.com

Anhang 1. Vergleich der Messungen von Griff- und Dollenstiftkraft beim Skullen

Die Griffkraft wurde mit einem abnehmbaren Sensor von BioRowTel v.3 System (1) gemessen

Die Dollenstiftkraft wurde mit einer Meßdolle von PowerLine system (3)gemessen und dann wurde die Griffkraft mit Gleichung 2 abgeleitet.

Beide Kräfte wurden simultan über eine Meßstrecke von etwa 1 min gemessen und dann zu einem typischen Schlagzyklus gemittelt.



Figur 1. Vergleich der Kraft/Winkelkurven in einem Doppelzweier bei Schlagfrequenz 30 spm

Tabelle 1. Vergleich der abgeleiteten Werte in einem Doppelzweier bei 30 spm

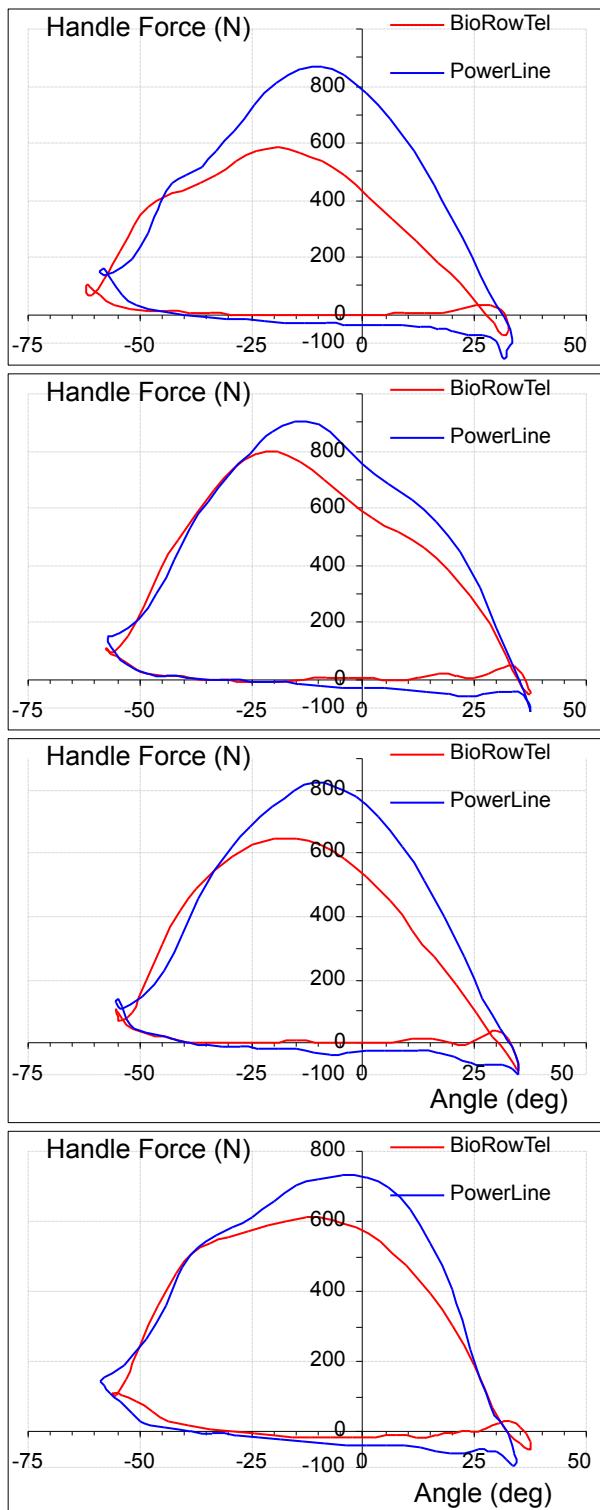
Daten von	Winkel Bio-Row-Tel (Grad)	Winkel Power Line (Grad)	Absolute Differenz (Grad)	Relative Differenz (%)	Max. Kraft Bio-Row-Tel (N)	Max. Kraft PowerLine (N)	Absolute Differenz (N)	Relative Differenz (%)	Durchschnittl. Kraft Bio-Row-Tel (N)	Durchschn. Kraft-PowerLine (N)	Absolute Differenz (N)	Relative Differenz (%)
Sitz 2 BB	111.1	114.9	-3.81	3.4%	391	377	13.3	3.5%	220	196	24.0	11.5%
Sitz 2 StB	114.0	116.0	-2.06	1.8%	387	381	5.8	1.5%	210	196	13.8	6.8%
Sitz 1 BB	108.3	107.8	0.48	0.4%	386	385	1.0	0.3%	173	180	-7.1	4.0%
Sitz 1 StB	112.8	115.7	-2.91	2.5%	376	401	-24.5	6.3%	178	184	-5.7	3.1%
Durchschnitt	111.5	113.6	-2.1	2.0%	385.1	386.2	-1.1	2.9%	195.5	189.2	6.3	6.4%
Daten von	Ruderleistung-Bio-Row-Tel (W)	Ruderleistung-PowerLine (W)	Absolute Differenz (W)	Relative Differenz (%)	Kraft auf 70% Bio-Row-Tel (Grad)	Kraft auf 70% PowerLine (Grad)	Absolute Differenz (Grad)	Relative Differenz (%)	Kraft von 70% Bio-Row-Tel (Grad)	Kraft von 70% PowerLine (Grad)	Absolute Differenz (Grad)	Relative Differenz (%)
Sitz 2 BB	144	130	13.3	9.7%	15.1	18.6	-3.5	20.7%	31.8	38.5	-6.7	19.1%
Sitz 2 StB	146	144	2.7	1.9%	16.8	18.3	-1.6	8.9%	29.7	30.1	-0.4	1.3%
Sitz 1 BB	127	123	3.8	3.1%	30.8	31.8	-1.0	3.2%	27.2	27.9	-0.7	2.6%
Sitz 1 StB	127	133	-5.7	4.4%	26.2	28.4	-2.2	8.1%	36.1	38.6	-2.5	6.7%
Durchschnitt	135.9	132.4	3.5	4.7%	22.2	24.3	-2.1	10.2%	31.2	33.8	-2.6	7.4%

Anhang 2. Vergleich der Messungen von Griff- und Dollenstiftkraft beim Riemenrudern

Die Griffkraft wurde mit einem abnehmbaren Sensor von BioRowTel v.3 System (1) gemessen

Die Dollenstiftkraft wurde mit einer Meßdolle von PowerLine system (3)gemessen und dann wurde die Griffkraft mit Gleichung 2 abgeleitet.

Beide Kräfte wurden simultan über eine Meßstrecke von etwa 1 min gemessen und dann zu einem typischen Schlagzyklus gemittelt.



Figur 2. Vergleich von Kraft-/Winkelkurven in einem Vierer bei Schlagfrequenz 34 spm

Tabelle 2. Vergleich der abgeleiteten Werte in einem 4- bei Schlagfrequenz 34 spm

Daten von	Win-kel Bio-Row-Tel (Grad)	Win-kel-Powe rLine (Grad)	Absolu-te Diffe-rence (Grad)	Relati-ve Dif-ferenz (%)	Max. Kraft Bio-Row-Tel (N)	Max. Kraft Powe rLine (N)	Absolu-te Diffe-rence (N)	Relati-ve Dif-ferenz (%)	Durch schn. Kraft Bio-Row-Tel (N)	Durch schn. Kraft Powe rLine (N)	Absolu-te Diffe-rence (N)	Relati-ve Dif-ferenz (%)
Schlag	94.5	92.4	2.03	2.2%	583	865	-282.3	39.0%	297	457	-159.5	42.3%
Sitz 3	94.9	94.9	0.01	0.0%	800	905	-105.3	12.3%	398	459	-61.0	14.2%
Sitz 2	90.1	90.2	-0.07	0.1%	649	822	-173.0	23.5%	320	428	-108.4	29.0%
Bug	93.5	92.9	0.61	0.7%	614	733	-119.0	17.7%	339	432	-93.2	24.2%
D u r c h-schnitt	93.2	92.6	0.6	0.7%	661.6	831.4	-169.9	23.1%	338	444	-105.5	27.4%
Daten von	Ruder Leis-tung Bio-Row-Tel (W)	Ruder Leis-tung-Powe rLine (W)	Absolu-te Diffe-rence (W)	Relati-ve Dif-ferenz (%)	Kraft auf-70% Bio-Row-Tel (Grad)	Kraft auf-70% Bio-Row-Tel (Grad)	Absolu-te Diffe-rence (Grad)	Relati-ve Dif-ferenz (%)	Kraft von 70% Bio-Row-Tel (Grad)	Kraft von 70% Bio-Row-Tel (Grad)	Absolu-te Diffe-rence (Grad)	Relati-ve Dif-ferenz (%)
Schlag	233	335	-101.7	35.8%	17.4	28.0	-10.7	47.1%	30.8	23.8	7.0	25.6%
Sitz 3	321	363	-42.5	12.4%	19.4	23.2	-3.8	17.9%	34.4	27.2	7.3	23.6%
Sitz 2	248	308	-59.2	21.3%	16.2	23.5	-7.3	37.0%	29.2	24.1	5.1	19.0%
Bug	271	314	-43.1	14.8%	13.3	21.1	-7.8	45.3%	24.6	18.0	6.5	30.7%
D u r c h-schnitt	268.2	329.8	-61.6	21.1%	16.5	23.9	-7.4	36.8%	29.7	23.3	6.5	24.7%