

Der Einfluss der Kurbelfrequenz auf die Leistungsfähigkeit in der Sportart Handcycling

(AZ 070404/09)

Patrick Kromer¹, Kai Röcker², Anja Hirschmüller³,
Hans-Hermann Dickhuth² & Albert Gollhofer (Projektleiter)¹

¹Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaft

²Medizinische Universitätsklinik Freiburg, Abt. für Rehabilitative
und Präventive Sportmedizin

³Universitätsklinikum Freiburg, Department für Orthopädie und Traumatologie

Problem

Handcycling ist eine junge Behindertensportart, die überwiegend von rollstuhlfahrenden Menschen ausgeübt wird und als paralympische Disziplin eine fest etablierte Größe im Behindertenradsport darstellt.

Im Vergleich zum Radsport erfolgt der Primärtrieb durch eine zyklische Bewegung der Arbeitsmuskulatur mit Kraftübertragung auf ein Kurbelsystem. Über einen Kettenantrieb wird das Antriebsrad und somit das Sportgerät in Bewegung gesetzt.

Besonders im Radsport gibt es aus sportwissenschaftlichen und medizinischen Fachbereichen viele Studien, die das Zusammenspiel zwischen Sportlerin bzw. Sportler und Sportgerät untersuchen und verbessern wollen. Einen sehr interessanten Aspekt stellt dabei die Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch die Kurbelfrequenz dar. Hier wurden in den letzten Jahrzehnten viele Ergebnisse aus Studien gesammelt, wodurch das Spektrum der „effizienten Trittfrequenz“ eingegrenzt werden konnte. Die Erkenntnisse werden in der heutigen Trainingslehre angewandt.

Für die Sportart Handcycling gibt es bezüglich des oben genannten Themas nur eine geringe Auswahl an wissenschaftlicher Literatur (Price et al., 2007).

Diese Situation war für uns Anlass, offene Fragen über „Kurbelfrequenzen im Handcycling“ tiefgründig zu untersuchen. Dabei stellte sich die Forschungsfrage, in welchem Kadenzbereich im Handcycling die Leistungsfähigkeit der Sportlerinnen und Sportler am größten bzw. effizientesten ist. Die Übertragbarkeit der Erkenntnisse in die Sportpraxis (Training und Wettkampf) hatte dabei eine grundlegende Bedeutung.

Methode

Das Handcycling Projekt wurde in zwei Testreihen aufgeteilt, deren Durchführung sich an den Publikationen aus dem Radsport orientierte (Buchanan & Weltman, 1985; Chavarren & Calbet, 1999; Hagberg et al., 1981; Löllgen, 1980; Mora-Rodriguez & Aquade-Jiminez, 2006). Jeder aus der Probandengruppe absolvierte 5 Tests pro Testreihe. In der ersten Testreihe sollte erfasst werden, mit welcher Kurbelfrequenz (50, 70, 90, 110 U/min und frei gewählte Frequenz) die höchste maximale Leistung (Watt) in einem Stufentest erzielt wird. Zusätzlich wurde die Auswirkung

auf physiologische Parameter (Herzfrequenz und Blutlaktatkonzentration) gemessen. In der zweiten Testreihe absolvierten die Sportlerinnen und Sportler 10-Minuten-Tests bei konstantem Wattwiderstand, ebenfalls mit den o. a. Kurbelfrequenzen und der Messung von Herzfrequenz und Blutlaktatkonzentration.

Beide Testreihen wurden auf einem Handcycle Ergometer durchgeführt (Cyclus 2, Firma RbM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Deutschland). Für den Stufentest wurde eine Anfangsbelastung von 40 Watt gewählt (Stufenanstieg: 20 Watt/3min). Die Belastungsintensität des 10-Minuten-Tests betrug 80 % von P_{Max} , die aus einem vorausgegangenen Stufentest mit frei gewählter Kurbelfrequenz ermittelt wurde. Die Messung der Herzfrequenz [HF (Schläge/min)] erfolgte mit einem Brustgurt (Firma Polar Electro, Kempele, Finnland). Für die Laktatbestimmung [LA (mmol/L)] des kapillär am Ohrläppchen entnommenen Blutes kam das Gerät EpioPlus (Firma Eppendorf AG, Hamburg, Deutschland) zum Einsatz.

Die Untersuchungsgruppe umfasste 15 männliche querschnittgelähmte Probanden. Die Probandenkonstellation zwischen den Testreihen variierte dabei nur geringfügig (Testreihe 1: $180,8 \pm 5,1$ cm, $73,3 \pm 7,7$ kg, $42,9 \pm 5$ Jahre, Lähmungshöhe: C6 – L2; Testreihe 2: $182,7 \pm 3,7$ cm, $76,4 \pm 6,0$ kg, $43,2 \pm 8,0$ Jahre, Lähmungshöhe: C6 – L2). Bei allen Probanden handelte es sich um Wettkampfsportler der Sportart Handcycling. Für die Untersuchung wurden ausschließlich Probanden akquiriert, die eine liegende Position im Handbike einnahmen, sogenannte „Liegebiker“, und eine Trainings- und Wettkampfkilometerleistung aus dem Vorjahr (2008) von mindestens 4000 km aufweisen konnten.

Ergebnisse

In der Tabelle 1 sind die physiologischen Auswirkungen der Testreihe 1 & 2 zu jeder Kurbelfrequenz dargestellt. LA_{Ruhe} und HF_{Ruhe} zeigten im Verlauf der beiden Testreihen keine signifikanten Unterschiede. Ein konstantes Ausgangsniveau der Sportler bei allen Tests war somit gegeben.

Tab. 1. *Physiologische Parameter Testreihe 1 in Abhängigkeit der Kurbelfrequenz*

Parameter/ Testreihe 1	50 U/min	70 U/min	90 U/min	110 U/min	fgF (82,3 U/ min)
P_{Max} (Watt)	$164,7 \pm 33,9$	$169,1 \pm 35,4$	$162,9 \pm 39$	$158,2 \pm 40,7$	$166,9 \pm 33,5$
Abbruchzeit (sek)	1320 ± 330	1350 ± 305	1281 ± 355	1245 ± 367	1341 ± 336
LA_{Ruhe} (mmol/l)	$1,4 \pm 0,33$	$1,32 \pm 0,54$	$1,35 \pm 0,39$	$1,28 \pm 0,32$	$1,3 \pm 0,31$
LA_{Max} (mmol/l)	$8,2 \pm 2,05$	$9,75 \pm 2,47$	$9,96 \pm 2,8$	$10,61 \pm 3,17$	$9,57 \pm 2,8$
LA_{3P} (mmol/l)	$8,79 \pm 2,14$	$10,74 \pm 2,58$	$10,87 \pm 2,81$	$11,1 \pm 2,88$	$10,83 \pm 3,11$
HF_{Ruhe} (Schläge/min)	$68,2 \pm 10,6$	$68,6 \pm 10,2$	$66,8 \pm 10,3$	$66,4 \pm 10$	$66,7 \pm 9,9$
HF_{Max} (Schläge/min)	$170 \pm 17,2$	$177 \pm 17,9$	$176,7 \pm 21,1$	$177,5 \pm 18,4$	$176 \pm 18,2$

Fortsetzung Tab. 1. *Physiologische Parameter der Testreihe 2 in Abhängigkeit der Kurbelfrequenz*

Parameter Testreihe 2	/	50 U/min	70 U/min	90 U/min	110 U/min	fgF (82,9 U/ min)
LARuhe (mmol/l)		1,52 ± 0,35	1,63 ± 0,45	1,73 ± 0,65	1,68 ± 0,51	1,73 ± 0,44
LAMax (mmol/l)		6,61 ± 2,6	6,8 ± 2,09	7,39 ± 2,71	9,47 ± 3,15	7,21 ± 2,32
LA10P (mmol/l)		3,92 ± 2	3,63 ± 1,78	4,28 ± 2,3	6,25 ± 3,55	4,40 ± 2,49
HFRuhe (Schläge/min)		73,3 ± 11,8	71,6 ± 9,29	74,9 ± 14,2	70,5 ± 11,47	72,4 ± 8,45
HFMax (Schläge/min)		158,8 ± 13	160,2 ± 13,9	165,2 ± 12,2	170,4 ± 12,6	164,5 ± 14,2

Testreihe 1

Im Stufentest mit der fgF wurde eine durchschnittliche Kurbelfrequenz von 82,3 ± 10,4 U/min und eine maximale Leistung von 166,9 ± 33,5 Watt erzielt.

Die höchste P_{Max} für die vorgegebenen Frequenzen wurde mit 70 U/min (169,1 ± 35,4 Watt) erzielt. Dieser Test unterschied sich dabei signifikant ($p < 0,05$) von den Testreihen mit 90 U/min (162,9 ± 39 Watt) und 110 U/min (158,2 ± 40,7 Watt).

P_{Max} bei 50 U/min (164,7 ± 33,9 Watt) war niedriger im Vergleich zu 70 U/min, jedoch ohne statistisch eindeutige Signifikanz ($p = 0,068$). Es ergab sich ein Leistungsgefälle zwischen 70 und 110 U/min von 6,5 % (10,9 Watt) (Abb.1).

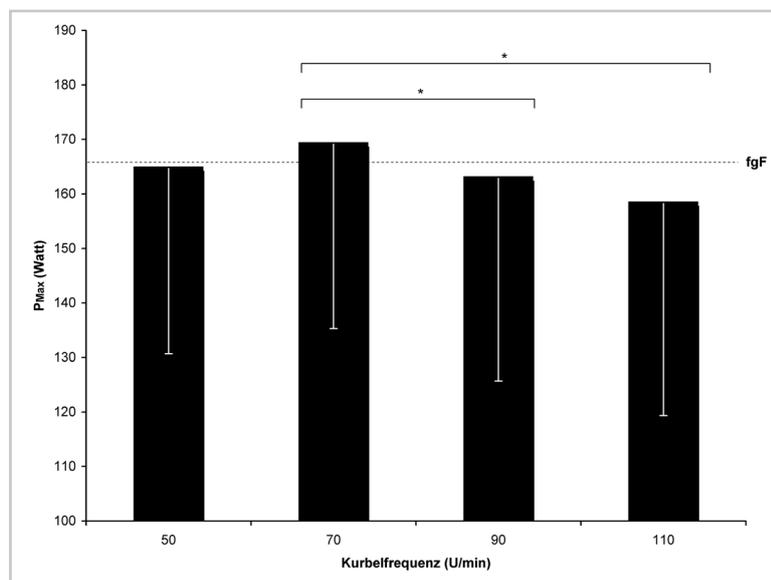


Abb. 1. Testreihe 1: maximale Leistung (PMax) während der Stufentests mit unterschiedlichen Kurbelfrequenzen. Die Leistung der frei gewählten Frequenz (fgF) ist als gestrichelte Linie gekennzeichnet. *: $p < 0,05$

HF_{Max} zeigte in den Testreihen mit 70, 90 und 110 U/min (177; 177,7; 177,5 Schläge/min) keine signifikanten Unterschiede. Aufgrund des Leistungsabfalls von P_{Max} zwischen 70 und 110 U/min ist es daher offensichtlich, dass HF_{Max} mit 90 U/min und vor allem bei 110 U/min zu einem früheren Zeitpunkt erreicht wurde.

Bei der Testreihe mit 50 U/min dagegen war ein Abfall der HF_{Max} von 4 % erkennbar ($p < 0,001$). Die Sportler waren somit bei diesem Test kardiovaskulär nicht vollständig ausbelastet (170,3 Schläge/min).

Zwischen 50 und 110 U/min zeigte sich ebenso ein Anstieg von LA_{Max} von $8,2 \pm 2,05$ mmol/L auf $10,61 \pm 3,17$ mmol/L ($p < 0,05$), was einer Erhöhung von 29,4 % entsprach. Die Messungen der Laktatkonzentration LA_{3P} bestätigten die Ergebnisse von LA_{Max} . Mit $8,79 \pm 2,14$ mmol/L bei 50 U/min und $11,1 \pm 2,88$ mmol/L bei 110 U/min resultierte ein Anstieg von 26,3 % ($p < 0,05$).

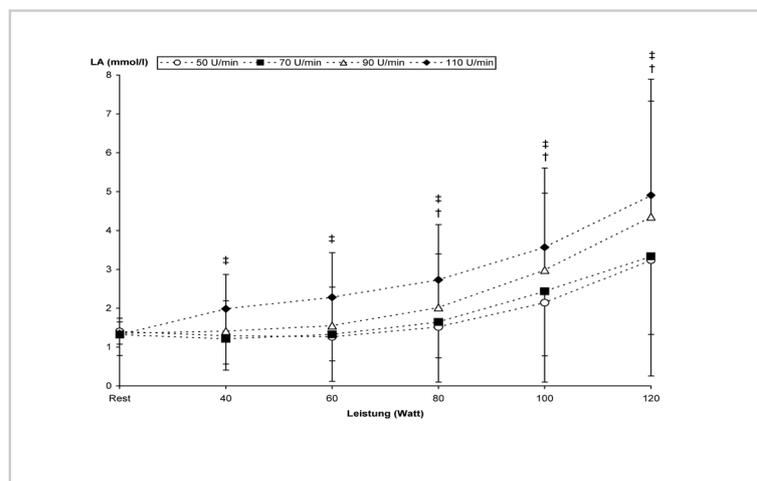


Abb. 2. Testreihe 1: relativer Anstieg der Blutlaktatkonzentration (LA) in Abhängigkeit der Kurbelfrequenz während Stufentests (40 bis 120 Watt). ‡: $p < 0,05$; 90–110 U/min. †: $p < 0,05$; 70–90 U/min

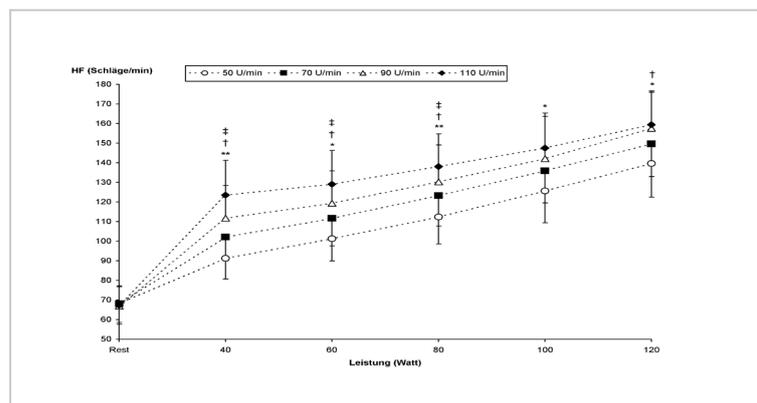


Abb. 3. Testreihe 1: relativer Anstieg der Herzfrequenz (HF) in Abhängigkeit der Kurbelfrequenz während Stufentests (40 bis 120 Watt). ‡: $p < 0,05$; 90–110 U/min. †: $p < 0,05$; 70–90 U/min. **: $p < 0,001$; 50–70 U/min (*: $p < 0,05$)

Testreihe 2

Trotz einer leicht unterschiedlichen Probandenkonstellation gegenüber der Testreihe 1, wurde im 10-Minuten-Test mit der frei gewählten Frequenz eine nahezu übereinstimmende Kurbelfrequenz erzielt (Testreihe 2: $82,9 \pm 12,4$ U/min; Testreihe 1: $82,3 \pm 10,4$ U/min).

Während der 10-minütigen Belastungsphase zeigte die Herzfrequenz einen relativen Anstieg mit ansteigender Kurbelfrequenz. Darüber hinaus wurde zwischen den Testreihen 70, 90 und 110 U/min ein signifikanter Anstieg von HF_{Max} beobachtet ($p < 0,05$).

Bei der Messung von LA_{Max} , unmittelbar nach der 10-minütigen Belastungsphase, zeigte auch die Blutlaktatkonzentration eine relative Erhöhung mit ansteigender Kurbelfrequenz. Zwischen 50 U/min ($6,61 \pm 2,6$ mmol/l) und 110 U/min ($9,47 \pm 3,15$ mmol/l) stieg LA_{Max} um 43,4 % an. Vor allem der Test mit 110 U/min zeigte den größten LA_{Max} Anstieg gegenüber den Kurbelfrequenzen 50–90 U/min ($p < 0,001$), auch 10 min nach Belastung (LA10P) ($p < 0,001$).

Diskussion

Die Ergebnisse liefern uns erste Erkenntnisse über den Einfluss der Kurbelfrequenz (50–110 U/min) auf die Leistungsfähigkeit (Watt) und auf physiologische Parameter (Herzfrequenz und Blutlaktat) im Handcycling Spitzensport. Darüber hinaus zeigen beide Testreihen erstmals ein bevorzugtes, frei gewähltes Kurbelfrequenz Spektrum (82,3 bzw. 82,9 U/min).

Im Stufentest erreichten unsere Sportler mit 70 U/min das Leistungsmaximum, wobei P_{Max} bei der niedrigen (50 U/min) und den höheren (90, 110 U/min) Kurbelfrequenzen abnahm. Auch die Ergebnisse der metabolischen und kardiovaskulären Messungen beider Testreihen deuten darauf hin, dass eine Erhöhung der Kurbelfrequenz einen offensichtlichen Mehraufwand für die Struktur der Energiebereitstellung zur Folge hat. Das könnte vermutlich auch den Leistungsabfall bei 90 und 110 U/min erklären, da bei diesen Kurbelfrequenzen die maximale Herzfrequenz (HF_{Max}) zu einem früheren Zeitpunkt erreicht wurde als bei 70 U/min.

Eine weitere Einflussgröße auf die Leistung könnte auch die Pedalkraft sein, die bekanntlich bei Verringerung der Kurbelfrequenz stetig zunimmt (Patterson & Moreno, 1990; Takaishi et al., 1998). Somit wäre auch das Ergebnis beim Stufentest mit 50 U/min erklärbar. Hier waren die Sportler kardiovaskulär nicht ausbelastet, die Leistung war somit eher über das maximale Kraftvermögen limitiert, das bei 50 U/min am höchsten war.

Unsere Ergebnisse sind vergleichbar mit den Publikationen aus dem Radsport (Buchanan & Weltman, 1985; Chavarren & Calbet, 1999; Hagberg et al., 1981; Löllgen, 1980; Mora-Rodriguez & Aquado-Jimenez, 2006) und der Arbeit von Price et al. (Handkurbelergometrie mit Nichtbehinderten). In der Literatur stehen die Werte für P_{Max} in einem engen Zusammenhang mit dem Leistungsvermögen in der Sportpraxis. So zeigten Hawley et al. (1992), dass die maximale Leistung auf dem Radergometer (Stufentest) mit der Leistung im Zeitfahren (20 km) eine große Über-

einstimmung liefert ($p < 0,001$). Ebenfalls wurde in Studien beobachtet, dass die Kurbelfrequenz einen Einfluss auf die Durchschnittsgeschwindigkeit in einem Zeitfahren hat (Brisswalter et al., 1999; Foss & Jostein, 2005).

Für Trainerinnen und Trainer wäre somit zu beachten, dass in der Sportart Handcycling eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit durch die Veränderung der Kurbelfrequenz durchaus zu erwarten ist vor allem bei Disziplinen, die durch eine konstante Leistungsabgabe bzw. Kurbelfrequenz gekennzeichnet sind (z. B. Zeitfahren ohne Höhenunterschiede).

Zusätzlich hat der relative Anstieg der Blutlaktatkonzentration mit Erhöhung der Kurbelfrequenz einen Einfluss auf die leistungsdiagnostischen Laktatbestimmungsverfahren und der damit verbundenen Trainingssteuerung. So beobachteten wir eine unterschiedliche Leistungsbewertung eines variablen „Laktatschwellenmodells“ (individuelle anaerobe Schwelle) im Vergleich mit der Leistung bei einem fixen Laktatwert (3mmol/l) (Kromer et al., 2011). Dieser Umstand muss daher, neben der Einhaltung einer vorgegebenen Kurbelfrequenz, bei der Planung und Durchführung von Belastungsversuchen strikt berücksichtigt werden.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass Handbike Athleten in Stufentests mit unterschiedlichen Kurbelfrequenzen (50–110 U/min) die höchste maximale Leistung mit 70 U/min erreichen. Die Erhöhung der Kurbelfrequenz führt ebenso zu einem relativen Anstieg der Herzfrequenz und der Blutlaktatkonzentration.

Literatur

- Buchanan, M. & Weltman, A. (1985). Effects of pedal frequency on O₂ and work output at Lactate Threshold (LT), fixed blood lactate concentrations of 2mM and 4mM, and max in competitive cyclists. *International journal of sports medicine*, 6 (3), 163-168.
- Brisswalter, J., Hauswirth, C., Smith, D., Vercruyssen, F. & Vallier, J. M. (1999). Energetically optimal cadence vs. freely-chosen cadence during cycling: effect of exercise duration. *International journal of sports medicine*, 21 (1), 60-64.
- Chavarren, J. & Calbet, J. A. L. (1999). Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists. *European journal of applied physiology*, 80 (6), 555-563.
- Foss, O. & Jostein, H. (2005). Cadence and performance in elite cyclists. *Journal of applied physiology*, 93 (4), 453-462.
- Hagberg, J. M., Mullin, J. P., Giese, M. D. & Spitznagel, E. (1981). Effect of pedalling rate on sub maximal exercise responses of competitive cyclists. *Journal of applied physiology*, 51 (2), 447-451.
- Hawley, J. A. & Noakes, T. D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Journal of applied physiology*, 65 (1), 79-83.
- Kromer, P., Hirschmüller, A., Dickhuth, H. H., Gollhofer, A. & Röcker, K. (2011). Leistungsdiagnostik im Handcycling: der Einfluss der Kurbelfrequenz auf unterschiedliche Referenzpunkte der Laktatleistungskurve. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 62 (1), 16-22.
- Löllgen, H. (1980). Muscle metabolites, force and perceived exertion in bicycling at varying pedal rates. *Medicine and science in sports and exercise*, 12 (5), 345-351.
- Mora-Rodriguez, R. & Aquado-Jimenez, R. (2006). Performance at high pedalling cadences in well-trained cyclists. *Medicine and science in sports and exercise*, 38 (5), 953-957.
- Patterson, R. P. & Moreno, M. I. (1990). Bicycle pedalling forces as a function of pedalling rate and power output. *Medicine and science in sports and exercise*, 22 (4), 512-516.
- Price, M. J., Collins, L., Smith, P. M. & Goss-Sampson, M. (2007). The effects of cadence and power output upon physiological and biomechanical responses to incremental arm-crank ergometry. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 32 (4), 686-692.
- Takaishi, T., Yamamoto, T., Ono, T., Ito, T. & Moritani, T. (1998). Neuromuscular, metabolic and kinetic adaptations for skilled pedalling performance in cyclists. *Medicine and science in sports and exercise*, 30 (3), 442-449.