

Der Einfluss der Kurbelfrequenz auf die Leistungsfähigkeit in der Sportart Handcycling

(AZ 070403/12)

Georg Hettich¹, Lorenz Assländer¹, Patrick Kromer¹, Kai Röcker² & Albert Gollhofer¹ (Projektleiter)

¹Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaft

²Medizinische Universitätsklinik Freiburg, Abteilung für Rehabilitative und Präventive Sportmedizin

1 Problem

Handcycling ist eine Radsportart, welche hauptsächlich von Menschen mit Behinderung im Bereich der unteren Extremität betrieben wird. Im Hinblick auf eine Optimierung von Training und Leistungsfähigkeit ist die Wahl einer effizienten Kurbelfrequenz ein interessanter Aspekt. Der Begriff Effizienz bedeutet in diesem Zusammenhang das Verhältnis aus geleisteter Arbeit zu metabolischem Energieverbrauch. Im Radsport wurde Effizienz im Zusammenhang mit Kurbel- bzw. Trittfrequenz bereits vielfach wissenschaftlich untersucht und beschrieben (Übersicht: di Pampero 2000; Ettema, 2009). Im Gegensatz dazu liegen im Handcycling nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen vor (Price et al., 2007; Kromer, 2011).

In einer ersten Studie über den Einfluss der Kurbelfrequenz auf die Leistungsfähigkeit im Handcycling (Kromer, 2011) konnte in Leistungstests mit vorgegebener Kurbelfrequenz gezeigt werden, dass die maximale Leistung (P_{\max}) bei einer Frequenz von 70 U/min liegt. Sowohl bei Tests mit tieferer Frequenz (50 U/min), als auch mit höheren Frequenzen (90 U/min und 110 U/min) war P_{\max} geringer. Bei Tests ohne Vorgabe einer Kurbelfrequenz lag diese jedoch deutlich höher (82,3 U/min) und die maximale Leistung etwas tiefer ($166,9 \pm 33,5$ W). Dabei war die Erhöhung der Kurbelfrequenz (50 U/min - 110 U/min) mit einer Erhöhung der Laktatkonzentration im Blut verbunden. Zur Bewertung des Energieverbrauchs und der Effizienz lässt sich die Laktatkonzentration allerdings nur eingeschränkt einsetzen.

In dieser Studie wurde deshalb zusätzlich zur Laktatbestimmung eine Atemgasanalyse durchgeführt. Durch die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe beim Erbringen einer bestimmten Leistung lässt sich auf den Energieverbrauch und somit auf die Effizienz schließen (Foss, 2004; Mora-Rodriguez, 2006). Ein weiterer Aspekt dieser Studie ist die Muskelfaserrekrutierung. Durch die Bestimmung der Ammoniakkonzentration im Blut kann durch die erhöhte AMP Desaminierung in „Fast Twitch“ Fasern ein Einblick in die Muskelfaserrekrutierung gewonnen werden (Meyer, 1979). Das Ziel dieser Studie bestand darin den Energieverbrauch und die Art der Muskelfaserrekrutierung in Abhängigkeit der Kurbelfrequenz zu bestimmen. Aus den Ergebnissen kann die effektive Kurbelfrequenz im Handcycling weiter eingegrenzt werden.

2 Methode

An der Studie nahmen zehn männliche querschnittsgelähmte Probanden teil ($41,8 \pm 10$ Jahre; $178,1 \pm 7,3$ cm; $72,7 \pm 6,7$ kg; Höhe des Querschnitts zwischen Th 3 und L 3; ein Proband inkomplette Tetraplegie auf Höhe C 6). Die Probanden absolvierten vier Leistungstests mit stufenförmigem Belastungsanstieg (Anfangsbelastung 40 W; Inkrement 20 W; Stufendauer 3 min) mit festgelegten Kurbelfrequenzen (50, 70, 90 und 110 U/min). Die Tests erfolgten in zufälliger Reihenfolge innerhalb von vier Wochen, wobei zwischen den einzelnen Tests mindestens zwei Tage Pause lagen.

Für die Tests benutzten die Probanden ihr eigenes Handbike, welches auf einen modifizierten Fahrrad Ergometer montiert wurde (Cyclus 2, Firma RbM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Deutschland). Die Atemgasanalyse während der Tests erfolgte mit dem Gerät Oxycon Pro (Jaeger/Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Deutschland). Entnommene Blutproben am Ohrläppchen dienten zur Bestimmung der Laktatkonzentration im Kapillarblut und entnommene Blutproben aus der Armvene zur Bestimmung der Ammoniakkonzentration.

Während die Probanden den Stufentest absolvierten, konnten sie die aktuelle Kurbelfrequenz auf einem Bildschirm sehen und wurden angehalten diese so konstant wie möglich auf dem vorgegebenen Wert zu halten. Die Atemgasanalyse und die Messung der Leistung erfolgte kontinuierlich, die Bestimmung der Laktatkonzentration jeweils in den letzten 30 s jeder Stufe. Nach Testabbruch wurde sofort eine weitere Ammoniak- und Laktatprobe entnommen.

Aus den Daten der Atemgasanalyse wurde für jeden Probanden und jede Kurbelfrequenz die Steigung der Sauerstoffaufnahme (VO_2 [ml/min]) über die Leistung ($\Delta\text{VO}_2 / \Delta P$ [ml/min/W]) bestimmt. Aus dem Verhältnis von Kohlendioxidabgabe (VCO_2 [ml/min]) zu VO_2 ($\text{VCO}_2/\text{VO}_2 > 1$) konnte die aerobe Schwelle (AT) in Bezug auf die Sauerstoffaufnahme (VO_2AT [ml/min]) und die Leistung (PAT [W]) bestimmt werden. Die Ergebnisse sind im folgendem als Mittelwerte und Standardabweichungen dargestellt. Statische Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Bedingungen wurden mithilfe einer Varianzanalyse bestimmt. Signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau 5%) sind mit einem Sternchen gekennzeichnet.

3 Ergebnisse

Alle Probanden konnten die vier Tests absolvieren und waren in der Lage, die vorgegebene Kurbelfrequenz einzuhalten. Allerdings wurden nur acht Probanden in der Auswertung berücksichtigt, da bei zwei Probanden die aerobe Leistungsfähigkeit für eine verlässliche Analyse nicht ausreichte.

Die Leistung an der aeroben Schwelle (PAT) und die maximale Leistung (P_{max}) sind in Abb. 1 dargestellt. PAT steigt zwischen 50 U/min und 70 U/min signifikant an ($p = 0.01$) und bleibt über die restlichen Kurbelfrequenzen annähernd konstant (Abb. 1A). P_{max} steigt ebenfalls zwischen 50 U/min und 70 U/min signifikant an ($p = 0.05$), bleibt zwischen 70 U/min und 90 U/min konstant und fällt dann zu 110 U/min signifikant ab ($p = 0.002$; Abb. 1B).

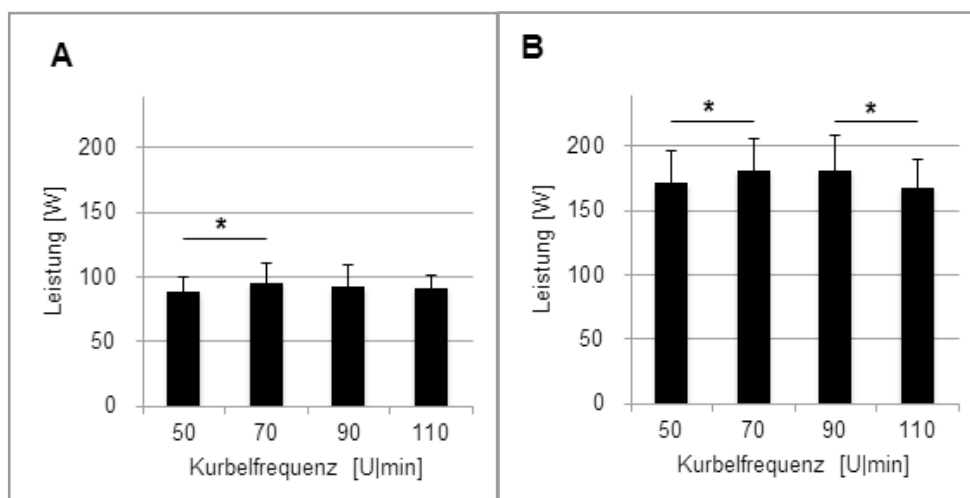


Abb. 1: Leistung an der aeroben Schwelle (A) und maximale Leistung (B) in Abhängigkeit der Kurbelfrequenz. Die maximale Leistung wurde bei 70 U/min und 90 U/min erreicht.

Der Verlauf von VO_2 während der Tests ist in Abb. 2A schematisch dargestellt. Ausgangswert ist VO_2 nach der ersten Stufe (40 W) und Endwert $\text{VO}_{2\text{max}}$ bei P_{max} . Zu beachten ist, dass in dieser Darstellung die unterschiedlichen Werte von P_{max} (171 W; 181 W; 181 W; 168 W; siehe Abb. 1B) in 180 W zusammengefasst wurden. Abb. 2B zeigt die Steigung von VO_2 über die Leistung ($\Delta\text{VO}_2 / \Delta P$) im mittleren Leistungsbereich. In der Literatur wird dieser Wert als „delta efficiency“ bezeichnet (Ettema, 2009). Die niedrigste Steigung wurde für 70 U/min gemessen (12.66 ± 0.61 ml/min/W), diese erhöht sich zu 90 U/min signifikant ($p = 0.02$).

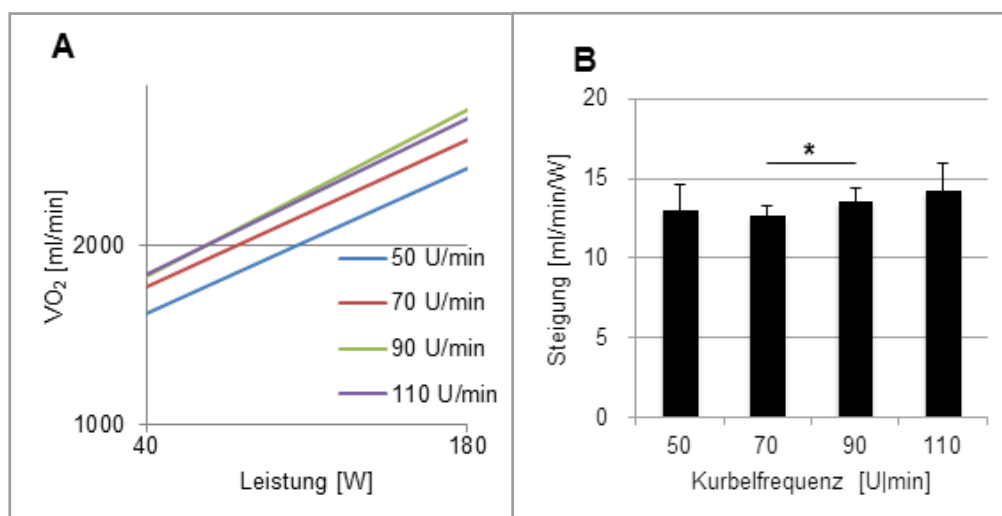


Abb. 2: Schematisch dargestellter Verlauf von VO_2 während der Stufentests (A) und Steigung von VO_2 über die Leistung (B) für die jeweilige Kurbelfrequenz.

4 Diskussion

Die vorliegende Studie zeigt für die Sportart Handcycling den Einfluss der Kurbelfrequenz auf die maximale Leistung und auf die Sauerstoffaufnahme. Aus der Steigung der Sauerstoffaufnahme bei steigender Leistung wurde die optimale Kurbelfrequenz im Hinblick auf die Effizienz ermittelt. Die maximale Leistung erreichten die Probanden bei 70 U/min und bei 90 U/min, bei 50 U/min und bei 110 U/min lag sie signifikant tiefer. Die geringste Steigung der Sauerstoffaufnahme und somit die höchste Effizienz wurde bei 70 U/min gemessen.

In Studien aus dem Radsport wurde eine Verringerung der Effizienz bei steigender Kurbelfrequenz mit erhöhtem Energieaufwand zur der Bewegung der Kurbel (Kautz, 2002; Leirdal, 2011) und einer verschlechterten intra- und intermuskuläre Koordination erklärt (Neptune, 1999). Im Handcycling kommt zusätzlich der Aspekt der Bewegungsstabilisierung hinzu. In Abhängig der Läsionshöhe fehlt die stabilisierende Muskulatur in den Beinen und im Rumpf und eine erhöhte Bewegungsgeschwindigkeit wird erheblich aufwendiger zu stabilisieren.

Diese Aspekte sprechen dafür, dass die niedrigste Kurbelfrequenz die effektivste sein müsste. Unsere Ergebnisse zeigen aber das P_{max} bei 70 U/min und 90 U/min am höchsten und die Steigung von VO_2 bei 70 U/min am geringsten ist. Dies könnte daran liegen, dass die Probanden bei 50 U/min kardiovaskulär nicht ausbelastet waren und somit P_{max} über das maximale Kraftvermögen limitiert wurde. Die Messung der Ammoniakkonzentration im Blut zeigt bei Testabbruch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kurbelfrequenzen, so dass keine Rückschlüsse auf die Muskelfaserrekrutierung geschlossen werden konnten.

Aus dem Radsport ist bekannt, dass die optimale Trittfrequenz sich mit ansteigender Leistung ebenfalls erhöht (Foss, 2004; Übersicht: Ettema, 2009). Die Bestimmung der effizienten Kurbelfrequenz in einem Stufentest mit breitem Leistungsbereich stellt somit eine „Kompromiss-Lösung“ dar und ist nicht notwendigerweise für jede einzelne Leistungsstufe die effizienteste Kurbelfrequenz.

Die Interpretation der Ergebnisse dieser Studie wurde durch die großen individuellen Leistungsunterschiede zwischen den Probanden erschwert. So reichte beispielsweise die Spanne von P_{\max} bei 70 U/min von 147 W bis zu 222 W. Neben dem Trainingsaufwand und Trainingsalter der Probanden waren auch die unterschiedlichen Läsionshöhen ein Grund für die großen Leistungsdifferenzen. Eine weitere Einschränkung der Studie war die geringe Anzahl an Probanden ($N = 10$) in Verbindung mit zwei messtechnischen Ausfällen bei der Ammoniakbestimmung und zwei Ausfällen bei der Bestimmung der ventilatorischen Parameter.

Betrachtet man im Handcycling einen breiten Leistungsbereich, deuten die Ergebnisse auf eine effiziente Kurbelfrequenz von 70 U/min hin. Bei dieser Kurbelfrequenz steigt VO_2 gegenüber der Leistung am geringsten an und P_{\max} erreichte den höchsten Wert. Dieses Ergebnis grenzt den Bereich einer effizienten Kurbelfrequenz im Handcycling ein und kann in die Trainings- und Wettkampfplanung übertragen werden.

5 Literatur

- Di Prampero, P. (2000). Cycling on Earth, in space, on the Moon. *European journal of applied physiology*, 82, 345-360.
- Ettema, G. & Wuttudal, H. (2009). Efficiency in cycling: a review. *European journal of applied physiology*, 106, 1-14.
- Foss, O. & Jostein, H. (2004). The most economical cadence increases with increasing workload. *Journal of applied physiology*, 92, 443-451.
- Kautz, S. A. & Neptune, R. R. (2002). Biomechanical determinants of pedaling energetics: internal and external work are not independent. *Exercise and sport science reviews*, 30, 159-165.
- Kromer, P., Hirschmüller, A., Dickhuth, H. H., Gollhofer, A. & Röcker, K. (2011). Der Einfluss der Kurbelfrequenz im Handcycling auf unterschiedliche Referenzpunkte der Laktatleistungskurve. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 62, Nr. 1, 22-28.
- Leirdal, L. & Ettema, G. (2011). The relationship between cadence, pedalling technique and gross efficiency in cycling. *European journal of applied physiology*, 111, 2885-2893.
- Meyer, R. A. & Terjung, R. L. (1979). Differences in ammonia and adenylate metabolism in contracting fast and slow muscle. *American journal of physiology*, 237 (3), 111-118.
- 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.
- Neptune, R. R. & Herzog, W. (1999). The association between negative muscle work and pedaling rate. *Journal of biomechanics*, 32, 1021-1026.
- 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.