
Vergleichende Untersuchungen ergometrischer Verfahren im Handbiken unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter hormoneller und immunologischer Parameter¹

Thomas Abel*, Petra Platen** (Projektleiterin)

Deutsche Sporthochschule Köln

*Institut für Individualsport,

**Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin

1 Problem

Handbiken ist eine attraktive, zum Kanon der Paralympics gehörende Sportart für Menschen mit Rückenmarksschädigungen und Erkrankungen sowie Amputationen der unteren Extremität. Das Handbiken erfreut sich in Deutschland einem ständig steigenden Zuspruch seitens der Athleten² und einem vermehrten Interesse seitens der Medien (2; 7; 8). Beim Handbike erfolgt der Antrieb über zwei Kurbeln, die über einen Ketten- oder Riemenantrieb mit dem Vorderrad eines dreirädrigen Fahrrads verbunden sind. Die Anordnung der Kurbeln kann sowohl synchron (parallel) als auch asynchron (versetzt um 180°) gewählt werden. Von den Athleten wird nahezu ausschließlich die synchrone Anordnung gefahren, da diese ein besseres Lenkverhalten des Bikes gewährleistet. In der Literatur liegen allerdings widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich des Wirkungsgrades der beiden Zugformen vor (6; 9). Aus diesem Grund wurden physiologische Reaktionen auf die beiden Zugtechniken insbesondere hinsichtlich der mechanischen Effizienz untersucht.³

2 Methodik

An den Untersuchungen nahmen 35 Athleten aus der Sportart Handbiken teil, nachdem sie über den Untersuchungsgang informiert wurden und ihre schriftliche Einverständniserklärung gegeben hatten. An der Untersuchung nahmen acht Frauen und 27 Männer teil. 17 Athleten gehörten zum Kader der sich bildenden Nationalmannschaft Handbiken, 18 Athleten betrieben leistungs- oder Breitensportlich orientierten Sport in der Vorbereitung auf

¹ VF 0407/04/04/2000-01

² Zur besseren Lesbarkeit des Abschlussberichts wird im Text nur die männliche Form verwendet. Dies soll ausdrücklich nicht Diskriminierung von Frauen und an den Untersuchungen beteiligten Athletinnen verstanden werden.

³ Ergebnisse der weiteren, im Rahmen des Projekts durchgeführten Untersuchungen können bei den Autoren angefordert werden oder finden sich in (1)

einen Stadtmarathon. Bei 24 Athleten war die Ursache der Querschnittslähmung ein Trauma (21 mit einer paraplegischen und drei mit einer tetraplegischen Lähmung), drei Personen waren von einer spina bifida Erkrankung betroffen, fünf Athleten betrieben Rollstuhlport aufgrund einer einseitigen oder beidseitigen Beinamputation und bei drei Athleten waren neurologische bzw. vaskuläre Ursachen für die Querschnittslähmung verantwortlich. Durchschnittlich waren die Athleten seit $14,8 \pm 6,1$ Jahren vom Rollstuhl abhängig und betrieben Rollstuhlport seit $9,9 \pm 4,5$ Jahren. Die durchschnittliche wöchentliche Trainingszeit lag bei $6,8 \pm 3,0$ Stunden, wobei $5,0 \pm 3,3$ Stunden auf ein handbikespezifisches Training entfielen.

Alle Handbiker, die an der Untersuchung teilnahmen, absolvierten zwei stufenförmige Belastungstests bis zur Erschöpfung im eigenen Handbike auf dem Cyclus II Ergometer (Firma Richter Leipzig), in das sich ein Handbike einspannen lässt. Die Antriebskurbeln des Handbikes wurden für den Gleichzug synchron angeordnet, wie sie üblicherweise montiert sind. Für den Wechselzug erfolgte eine asynchrone Montage, wie sie von Fahrrädern bekannt ist. Der Testaufbau ist in Abbildung 1 a+b dargestellt.



Abb. 1 a+ b: Testaufbau

Das folgende Belastungsschema war für beide Zugformen identisch. Die Tests wurden hinsichtlich der Reihenfolge der Stufentests (Gleichzug – Wechselzug) randomisiert.

Die Belastung erfolgte nach folgendem Schema: Ausgehend von einer Einstiegsbelastung von 15 Watt wurde die Belastung alle drei Minuten um 15 Watt bis zum Abbruch der Ergometrie gesteigert. Die Probanden wurden angehalten, mit einer Umdrehungsfrequenz von 60 U/min zu kurbeln. Das Unterschreiten der Kurbelfrequenz von 50 U/min führte

zum Abbruch der Belastung. Während der Untersuchungen wurden kontinuierlich die Atemgase über ein offenes Spirometriesystem analysiert. Zum Ende jeder Belastungsstufe erfolgte die Registrierung der Herzfrequenz, die Blutentnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen zur Bestimmung der Konzentration des Laktats sowie die Frage nach der subjektiven Einschätzung des Belastungsempfindens.

Bei den einzelnen stufenförmigen Belastungen wurden die Teilnehmer durch den Versuchsleiter verbal ermuntert, sich maximal zu belasten. Als Kriterium für das Vorliegen einer maximalen Ausbelastung wurde das Erreichen eines Wertes von mindestens 17 auf der Skala nach Borg festgelegt (4). Zwischen den beiden Belastungen wurden die Athleten angehalten, kohlehydrathaltige Getränke zu sich zu nehmen, um einer möglichen Glykogenverarmung vorzubeugen.

3 Ergebnisse

Die physiologischen Reaktionen der Athleten unter maximaler Belastung sind in Tabelle 1 dargestellt. Physiologische Reaktionen bei definierten Belastungen von 30, 60 und 90 Watt für beide Zugformen sind in den Abbildungen 2 bis 4 dargestellt. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Zugformen sind in den Abbildungen gekennzeichnet. Belastungsintensitäten von 90 Watt für beide Zugformen wurden nur von 13 Athleten der Studie erreicht.

Table 1: Maximale Belastung, Herzfrequenz, Laktatkonzentration und Sauerstoffaufnahme für beide Zugformen bei maximaler Belastung (Mittelwert \pm Standardabweichung).

Physiologische Reaktionen bei maximaler Belastung für beide Zugformen			
n = 35	Gleichzug	Wechselzug	Signifikanz-Niveau
Belastung [Watt]	100,6 \pm 44,5	84,4 \pm 35,6	P < 0.001
Herzfrequenz [S/min]	165,2 \pm 22,0	164,0 \pm 21,8	n.s.
Laktat [mmol/l]	7,1 \pm 2,6	6,5 \pm 2,8	n.s.
Sauerstoffaufnahme [ml/min]	1939,8 \pm 653,6	1854,0 \pm 644,8	n.s.

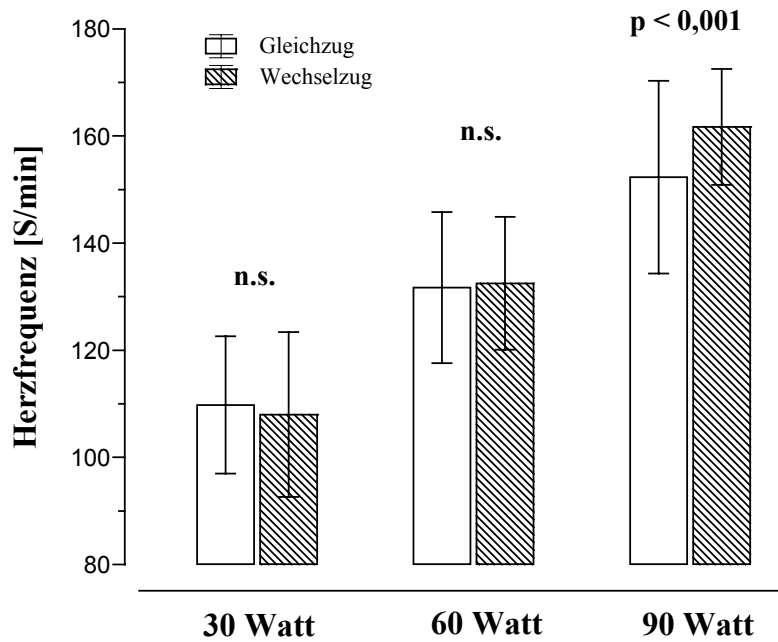


Abb. 2: Vergleich der Herzfrequenzen (S/min) bei definierter Leistung von 30, 60 und 90 Watt im Gleich- und Wechselzugtest

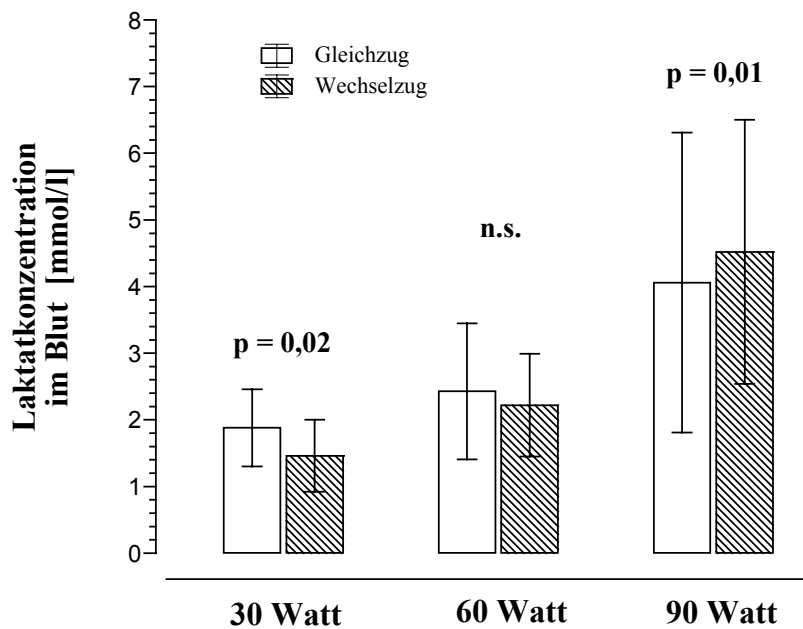


Abb. 3: Vergleich der Laktatkonzentrationen (mmol/l) bei definierter Leistung von 30, 60 und 90 Watt im Gleich- und Wechselzugtest

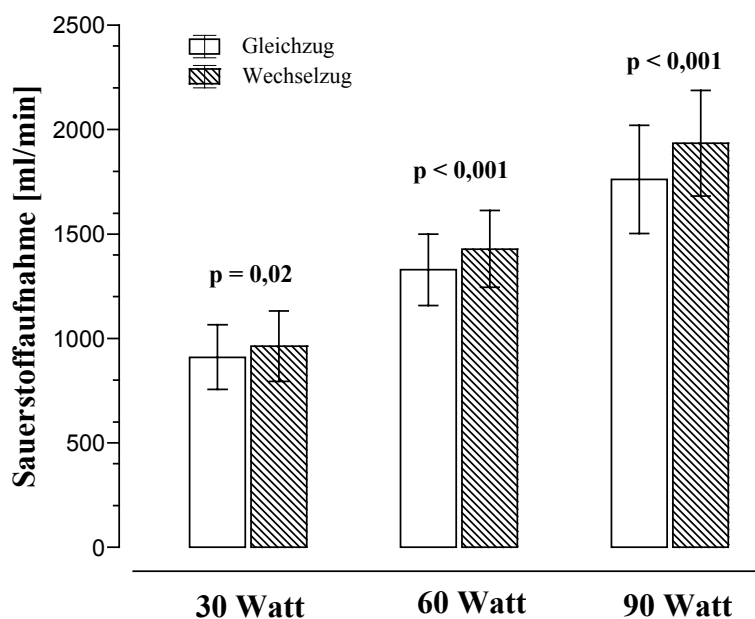


Abb. 4: Vergleich der Sauerstoffaufnahme (ml/min) bei definierter Leistung von 30, 60 und 90 Watt im Gleich- und Wechselzugtest

4 Diskussion

Die gemessenen maximalen Werte der Wattlast waren für die synchrone Montage der Kurbeln signifikant höher (100,6 Watt) als die Maximalwerte bei asynchroner Kurbelmontage (84,4 Watt). Da es sich bei der synchronen Kurbelmontage um die Form handelt, die in der Trainingspraxis von den Athleten angewendet wird, liegt die Vermutung nahe, dass die Unterschiede in der maximalen Wattleistung wesentlich auf den Trainingszustand der oberen Extremität zurückzuführen sind. Verbesserungen der intra- und intermuskulären Koordination der Athleten in Verbindung mit einem bewegungsspezifischen Leistungszuwachs in der beanspruchten Muskulatur durch die Trainingspraxis lassen eine bessere Ökonomisierung der Bewegung und höhere Leistungsfähigkeit erwarten. Hopman et al. (1995) konnten nachweisen, dass bei der Nutzung von Kurbelsystemen, die mit den Armen angetrieben werden, der *M. triceps* beim Gleichzug während 75 % des gesamten Bewegungszyklus Aktivität aufwies, wohingegen er beim Wechselzug nur während 50 % des Bewegungszyklus Aktivität im EMG zeigte (5). Aufgrund dieser Unterschiede folgte die Arbeitsgruppe um Mossberg (1999), dass der Gleichzug – unter Berücksichtigung der bei eigenen Untersuchungen zum Gleich- und Wechselzugtest gefundenen, signifikant niedrigeren Werte der maximalen Wattleistung für den Gleichzug – die weniger ökonomische Zugform kennzeichnet (9). Hopman (1995) selbst konnte mit ihrer Arbeitsgruppe

hingegen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der maximalen Wattleistung beim Vergleich der beiden Zugformen nachweisen (5).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie und die aus der Literatur zitierten Untersuchungen zeigen kontroverse Ergebnisse. Dabei sind einige methodische Unterschiede zu bedenken, die hierfür ursächlich sein können bzw. die Vergleichbarkeit der Studien relativieren. An den Untersuchungen von Hopman et al. (1995) nahmen ausschließlich nichtbehinderte Personen teil. Mosberg et al. (1999) untersuchten sieben nichtbehinderte Probanden und elf paraplegisch geschädigte Menschen. Über Erfahrungen im Handbike, die das Training einer bestimmten Zugform implizieren, wurden in beiden Untersuchungen keine Angaben gemacht. In der vorliegenden Untersuchung wurde sportartspezifisch im eigenen Handbike getestet, während bei den beiden anderen Untersuchungen ein Drehkurbel-Ergometer verwendet wurde. Mossberg et al. (1999) verwendeten ein stufenförmiges Protokoll, bei dem alle 2 Minuten um 10 Watt gesteigert wurde und alle 6 Minuten eine Pause von 1 Minute eingelegt wurde. Hopman et al. (1995) verwendeten einen Stufentest, bei dem nach einer Pause von 6 Minuten eine Belastung von 5 Minuten erfolgte und Stufen von 30, 60 und 90 Watt absolviert wurden (5;9). Im Anschluss erfolgte nach einer Pause von 12 Minuten ein Maximaltest, bei dem jede Minute bis zum Belastungsabbruch bei erreichter subjektiver Ausbelastung gesteigert wurde. Aufgrund dieser Gegebenheiten lassen sich die Ergebnisse von Mossberg et al. (1999) mit paraplegisch geschädigten Probanden am ehesten mit den im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erhobenen Ergebnissen vergleichen. Die kontroversen Resultate sind dabei einerseits auf die Handbikeerfahrung der Probanden dieser Studie zurückzuführen, andererseits unter Umständen auf die relativ niedrigen Läsionshöhen der Probanden, die an der Studie von Mossberg (1999) teilnahmen (9). Die asynchrone Zugführung führt bei hoher Läsion in Verbindung mit einer verringerten Innervationsmöglichkeit der Rumpfmuskulatur unter Belastung zu unerwünschten Bewegungen im Bereich des Oberkörpers, denen durch Muskelkontraktionen im Bereich der Arme entgegengewirkt werden muss. Diese Mehrbelastung der Arme führt unter Umständen zu einer verringerten maximalen Leistungsfähigkeit. Im Handbike wird darüber hinaus die Sitzposition bei schmaler Rückenlehne deutlich weniger stabilisiert, als dies im Alltagsrollstuhl der Fall ist, der bei Untersuchungen an einem Drehkurbelergometer verwendet wird (3). Auch dies könnte mit dafür verantwortlich sein, dass sich die Ergebnisse, die Mossberg et al. (1999) nachweisen konnten, deutlich von denen in dieser Arbeit unterscheiden (9).

Herzfrequenzen bei definierten Wattleistungen

Bei definierten Belastungsintensitäten von 30, 60 und 90 Watt konnten nur für die Intensität von 90 Watt signifikante Unterschiede festgestellt werden. Hier zeigte sich eine im

Vergleich zum Wechselzugtest erniedrigte Herzfrequenz beim Gleichzug (152,3 S/min vs. 161,7 S/min). Da die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung vorgenommenen Tests im eigenen Handbike durchgeführt wurden, lassen sich die statistisch signifikanten Unterschiede nicht durch unterschiedliche Sitzpositionen begründen. Die Befunde sprechen dafür, dass die Energieanforderung aus der Muskulatur, die eine erhöhte Herzfrequenz erfordert, für den Gleichzug niedriger lag als beim Wechselzug. Damit wird die Hypothese einer größeren Ökonomie in der Arbeitsmuskulatur durch eine verbesserte intra- und intermuskuläre Koordination bekräftigt.

Laktatkonzentrationen bei definierten Wattleistungen

Die Analyse der Laktatkonzentrationen bei definierter Belastung zeigt ein uneinheitliches Bild. Während bei einer moderaten Belastung von 30 Watt statistisch signifikant niedrigere Werte der Blutlaktatkonzentration für den Wechselzug nachgewiesen werden konnten, zeigten sich bei einer Intensität von 90 Watt niedrigere Werte für den Gleichzugtest. Bei einer Intensität von 60 Watt konnten keinerlei Unterschiede nachgewiesen werden. Hopman et al. (1995) stellten bei ihren Untersuchungen, bei denen sich für eine Belastung von 30 Watt ebenfalls niedrige Werte der Laktatkonzentration ergaben, die Vermutung auf, dass sich der Effekt der Schwungmasse des Ergometers beim Gleichzugtest unter geringer Belastung in einem ungünstigen Bewegungsablauf äußert und damit einer höheren Belastung gleichkommt (6). Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen diese Vermutung und decken sich darüber hinaus mit der Aussage vieler Teilnehmer, subjektiv erst ab einer Belastung von etwa 45 Watt einen „runden“ Bewegungsablauf realisieren zu können. Die bei einer Belastung von 90 Watt im Vergleich zur Wechselzugtechnik verminderte Laktatkonzentration beim Gleichzug lässt sich analog zu den Ergebnissen der Herzfrequenz bei definierter Belastung durch eine Ökonomisierung im Sinne einer Verbesserung der intra- und intermuskuläre Koordination erklären.

Sauerstoffaufnahme bei definierten Wattleistungen

Die Sauerstoffaufnahme zeigte für alle definierten Wattbelastungen signifikant erniedrigte Werte für den Gleichzug im Vergleich zum Wechselzug. Dies ist ein eindeutiges Anzeichen einer höheren Effizienz des Gleichzugs für die Gruppe der untersuchten Handbiker, die zum größten Teil über umfangreiche Handbikeerfahrung verfügten. Diese Ergebnisse stehen damit in deutlichem Widerspruch zu den bei gesunden Probanden gefundenen Ergebnissen von Hopman et al. (1995), die keinen Unterschied hinsichtlich der Effizienz bei 60 und 90 Watt fanden und bei einer Belastung von 30 Watt eine höhere Effizienz für den Wechselzug registrierten. Erneut sind die unterschiedlichen Ergebnisse wahrscheinlich wesentlich auf die unterschiedlichen Probandengruppen zurückzuführen.

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zur maximalen Wattleistung darauf hin, dass die Gleichzugtechnik für die untersuchten Athleten die optimale Zugform darstellt. Einschränkend muss dabei allerdings darauf hingewiesen werden, dass es sich bei dieser Zugform um die während des Trainings von den Athleten umgesetzte Zugform handelt, so dass der Trainingseffekt diese Aussage mit beeinflusst.

5 Literatur

1. Abel, T. (2002). *Energetische und leistungsphysiologische Untersuchungen im Rollstuhlsport unter besonderer Berücksichtigung präventivmedizinischer Aspekte*. Dissertation, Deutsche Sporthochschule Köln.
2. Abel, T., Kroner, M., Rojas Vega, S., Peters, C., Klose, C. & Platen, P. (2003). Energy expenditure in wheelchair racing and handbiking – a basis for prevention of cardiovascular diseases in those with disabilities. *J Cardiovasc Risk*, 10, 371-376.
3. Abel, T., Platen, P. & Peters, C. (2003). Performance Diagnosis in Quad Rugby and Wheelchair Basketball. *Med Sci Sports Exerc*, 32 (Suppl), 114.
4. Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med*, 2, 92-98.
5. Hopman, M.T., Van Asten, W.N. & Oeseburg, B. (1996). Changes in blood flow in the common femoral artery related to inactivity and muscle atrophy in individuals with long-standing paraplegia. *Adv Exp Med Biol*, 388, 379-383.
6. Hopman, M.T., Van Teeffelen, W.M., Brouwer, J., Houtman, S. & Binkhorst, R.A. (1995). Physiological responses to asynchronous and synchronous arm-cranking exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72, 111-114.
7. Janssen, T.W., Dallmeijer, A.J. & Van der Woude, L.H. (2001). Physical capacity and race performance of handcyclers. *J Rehabil Res Dev*, 38, 33-40.
8. Maki, K.C., Langbein, W.E. & Reid-Lokos, C. (1995). Energy cost and locomotive economy of handbike and rowcycle propulsion by persons with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*, 32, 170-178.
9. Mossberg, K.C., Williams, C., Topor, M.A., Crook, H. & Patak, S. (1999). Comparison of asynchronous versus synchronous arm crank ergometry. *Spinal Cord*, 37, 569-574.