

Die Bioenergetik der Leistungsabgabe in kombinierten Arm-Bein-Kurbel-Systemen (Richard Powell und Tracey Robinson)

Veröffentlicht:

HUMAN POWER - The technical Journal of the IHPVA
Vol.6 No.3 Herbst 1987

Autoren:

Richard Powell und Tracey Robinson
Dept of Physical Education & Recreation
New Mexico State Univeristy
Box3M
Las Cruces, NM 88003 USA

Zusammenfassung

Tests an jungen Erwachsenen mit durchschnittlich athletischen Fähigkeiten zeigten, dass die maximale Leistung bei Arm-Bein-Kurbel Systemen im Vergleich mit einfachen Beinkurbeln um mehr als 30% erhöht werden konnte.

Darüber hinaus wurde beim Arm-und Bein-Kurbel Einsatz eine höhere Effektivität bei der Dauerleistungsabgabe ermittelt.

Es konnten Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden bezüglich dem Armeinsatz gefunden werden.

Einführung

Ein beträchtlicher Forschungsaufwand hat im Laufe der Jahre die optimalen Geschwindigkeiten und die zu erwartenden Leistungsabgaben für die Bein-, Arm-und Ruder Ergometrie untersucht.

Untersuchungen aus der Vergangenheit zeigen auf, dass Kombinationen von Arm-und Bein Einsatz im Vergleich zu reiner Beinergometrie eine höhere Arbeitsleistung (11-20% höher) ermöglichen.

(Reybronck et al 1975;.. Nagel et al 1984)

Allerdings ist der Wirkungsgrad beim submaximalen Arbeiten unter Verwendung von Arm, Bein oder Arm-Bein-kombinierenden Produktionssysteme unklar.

Sport- und Freizeitfahrradfahren spielt sich vorwiegend im Ausdauerbereich ab. Deshalb könnte der Einsatz von mehr Muskelmassen beim Arm- und Bein betriebenen Antriebssystemen, bei einer äquivalenten Herzbelastung, zu einem effektiveren muskelbetriebenen Fortbewegungsmittel (HPV Human Powered Vehicle) führen.

Bei unseren Untersuchungen interessierte uns, ob es Bioenergetisch möglich ist, eine verbesserte Arbeitsleistung mit Armen UND Beinen bei gleicher submaximalen physiologischen Anstrengungen im Vergleich zum Einsatz von Armen ODER Beinen zu erreichen.

Hintergrund

Es ist eine bekannte Tatsache, dass die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2 max) etwa 10% höher ist, wenn eine Person auf einem Laufband statt auf einem Fahrrad-Ergometer getestet wird.

Der Grund für dieses Ereignis wird durch eine größere Summe aktiver Muskelmassenbeteiligung beim Laufen im Vergleich zu stationärem Radfahren erklärt;

damit ist maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_2 \text{ max}$) beim Laufbandlaufen höher, obwohl maximale Herzfrequenz bei allen Test der beiden Typen die gleich war.

Weil herkömmliches Fahrradfahren nur die Beine für die Dauer-Leistungsabgabe nutzt, scheint es, dass bei gleicher vorgegebenen Herzfrequenz, sich bei kombiniertem Arm und Beintrieb die Sauerstoffaufnahme und Leistungsabgabe erhöhen, im Vergleich zum reinen Beintrieb.

Während es klar ist, dass eine maximale Leistungsabgabe bei kombinierten Arm-Bein Antriebssystemen besser ist, als wenn die Beine allein arbeiten, sind solche maximale Leistungsabgaben weitgehend anaerob und zeigen wenig bezüglich von Dauerleistungsabgaben.

Die Absicht dieser Forschung war es, die physiologischen Aufwand für die Erzeugung von Antriebsleistung den drei folgenden Antriebsarten zu vergleichen:

- Arm Ergometrie
 - Bein Ergometrie
- und
- Kombination Arm-und-Bein-Ergometrie

Daraus ergeben sich zwei unmittelbare Fragen:

1. Ist die kombinierte Arm-Bein-Ergometrie bei verschiedenen Dauerleistungs-Niveaus physiologisch effizienter als die ausschließlich Arm- oder ausschließlich Bein-Ergometrie?
2. Wie sind die 3 Ergometrien im Vergleich der maximal Leistungen?

Vorgehen

Ein strukturelles Gehäuse wurde entwickelt, in denen die Probanden in einem Sitz 500mm hoch sitzen, mit einer vor ihnen angeordneten Arm-Ergometer Kurbel.

Die Achse des Arms Kurbel Ergometer war 1220mm hoch und positioniert ist, um eine vollständige Armstreckung am äußersten Punkt der Kurbelbewegung zu gewährleisten. Ein zweites Bein-Kurbel Ergometer wurde in seiner Achse 280mm hoch positioniert, um eine vollständige Beinstreckung am äußersten Punkt der Kurbelbewegung zu gewährleisten.

Beide Ergometer wurden mit elektrischen Systemen gebremst.

32 Probanden (17 männliche und 15 weibliche, Durchschnittsalter - 25,3 Jahre) wurden über drei separate Sitzungen zur gleichen Tageszeit, jeweils eine Woche auseinander, getestet.

Alle drei Sitzungen wurden verwendet, um progressive Bein-und / oder Arm-Kurbel Leistungen zu testen. Dabei war die Reihenfolge (nur Arme, nur Beine oder Arme und Beine) der Tests zufällig.

Während allen drei Belastungstests wurde der Sauerstoffverbrauch (VO_2) und die Kohlendioxid-Produktion (VCO_2) alle 15 Sekunden berechnet, basierend auf dem Volumen der ausgeatmeten Luft (VE), echter O_2 und CO_2 -Konzentrationen. Zusätzlich wurde die Herzfrequenz (HR) alle 30 Sekunden aufgezeichnet.

Die Tests waren in zwei Minuten Schritte eingeteilt.

Das Armkurbeln begann mit 25 Watt Leistung und wurde immer nach zwei Minuten um 25 Watt erhöht.

Obwohl dieser Test nicht Körpergewicht abhängig gemacht wurde, ähnelt es stark anderen folgenden Tests. (Williams et al. 1983)

Das Beinkurbeln begann mit 33,3 Watt Leistung und erhöhte sich alle 2 Minuten um 33,3 Watt.

Das Vorgehen richtete sich nach anderswo gemachten Tests. (Niemela, 1980)

Ein 2 Minütiges Beinkurbel warm-up bei 33,3 Watt ging dem kombinierten Arm-Bein-Einsatz voraus.

Das kombinierte Arm-Bein-Kurbeln begann bei 25 bzw. 33,3 Watt (totale Wattleistung = 58,3). Auch hier erfolgte alle zwei Minuten die Erhöhung der entsprechenden Wattzahl.

Alle Kurbeleinheiten wurde bei 50 RPM durchgeführt und dauerten bis zur Erschöpfung.

Aufgrund der zu erwartenden Unterschiede zwischen den Probanden bezüglich ihrer Leistungskapazitäten, wurden für jeden einzelnen linear-Regressionsgleichungen berechnet und dargestellt als VO_2 , VE und Herzfrequenz jeweils gegen kumulative Leistung in Watt;

Von den Einzelgleichungen wurden anschließend die Gruppengleichungen abgeleitet.

Die kumulativen Leistungen wurde durch die Bestimmung der Leistung in Watt für jede aufeinander folgende Minuten abschließend berechnet - zuzüglich des Anteils (der letzten 15 Sekunden) von der letzten Minute der Arbeit.

Eine 07.48 maximale Arbeitszeit für Arme, zum Beispiel, würde eine maximale kumulative Belastung von 475 Watt ergeben.

$(25 + 25 + 50 + 50 + 75 + 75 + 100 + (0.75 (100)))$.

Auf diese Weise konnte ein Messung der VO_2 und VE Werten alle 15 Sekunden und jeweils einer Messung der HR-Werte alle 30 Sekunden, bezüglich einer kumulativen Arbeitsleistung zu diesem Zeitpunkt, aufgezeichnet werden. Individuelle Muster von anhaltender physiologischer Anpassung an die einzelnen Arbeitsbelastungsschritten, konnten für jede der drei Antriebsarten abgeleitet werden.

Erkenntnis

Nach der Berechnung linear-Regressionsgleichungen für jeden einzelnen, wurden die Gleichungen nach dem Geschlecht gruppiert.

Wir untersuchten die Steigungen der Gleichungen als Index der relativen physiologischen Belastung bei der Leistungserzeugung.

Je größer oder vertikaler die Steigung war, desto anstrengender war die Übung bezogen auf die untersuchten physiologischen Variablen.

Der Luftverbrauch gegen die kumulative Belastung aufgetragen (Abbildung 1) zeigte für Arm Kurbeln bei Frauen keine statistisch signifikanten Veränderungen der Steigungen der Gleichungen und ein signifikanten Unterschied bei den Männern.

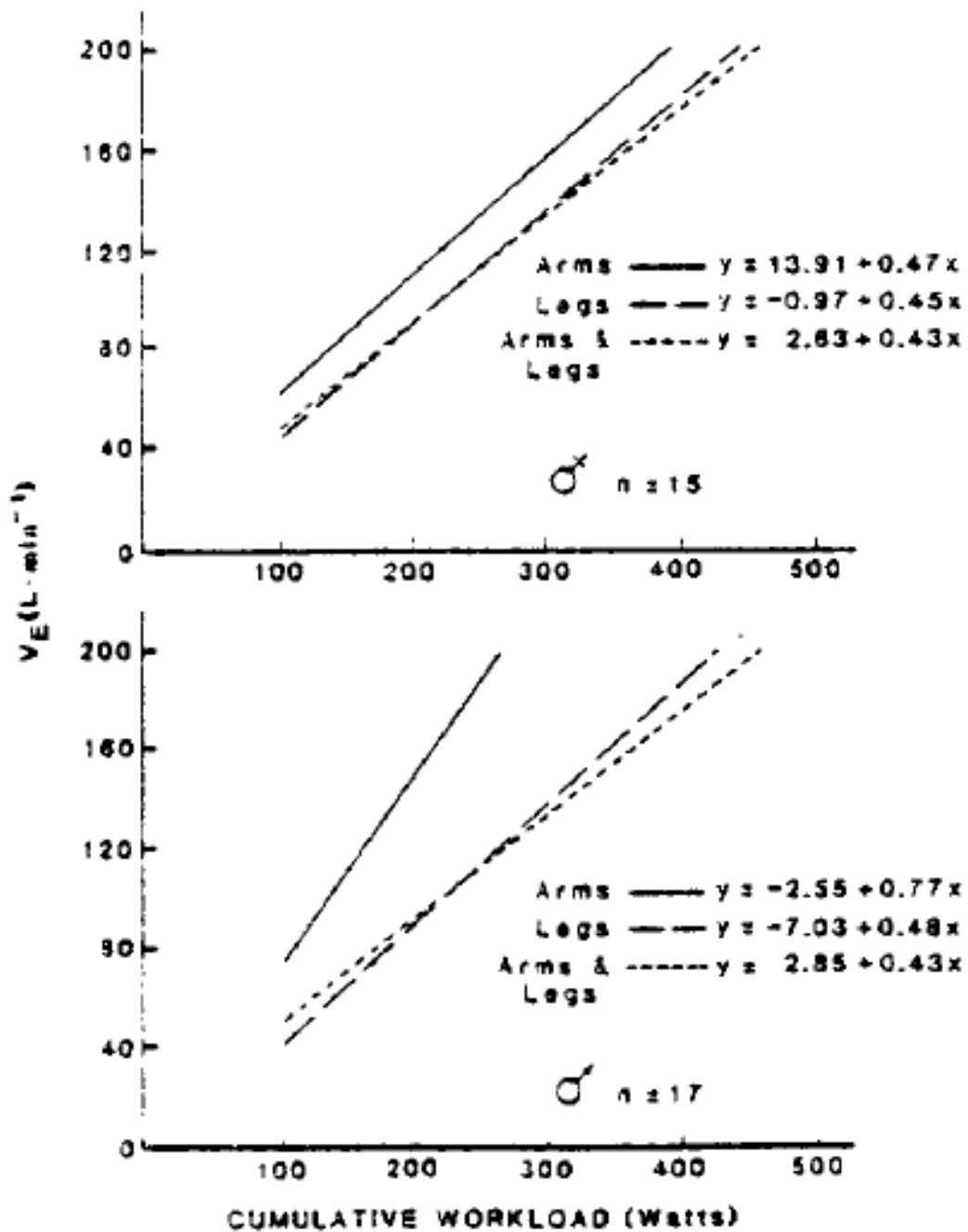


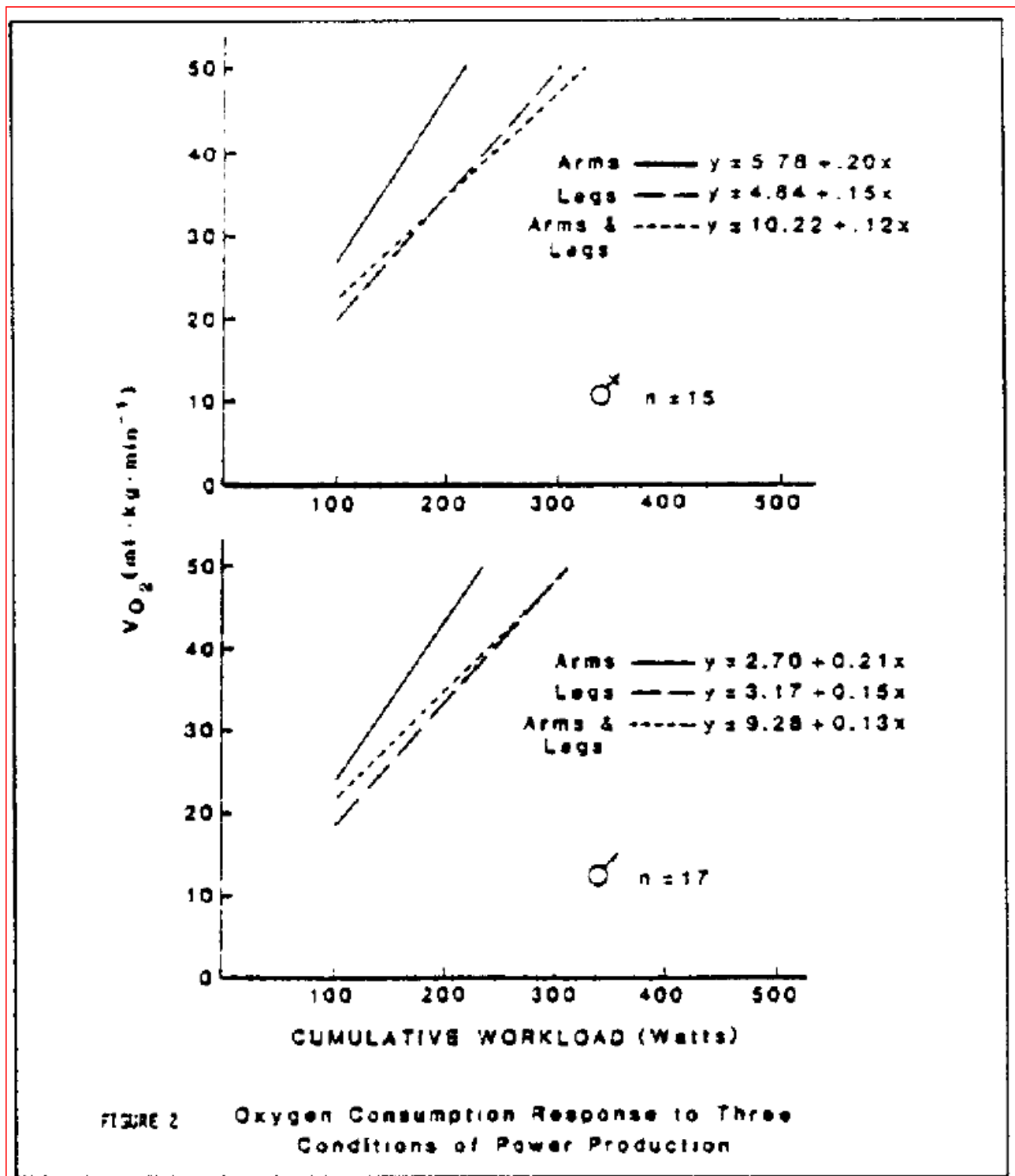
FIGURE 1 Ventilatory Response to Three Conditions of Power Production

Insbesondere Frauen finden, im Vergleich zu Männern, zusätzliches Armkurbeln anstrengender, wahrscheinlich aufgrund einer relativ schwächeren Oberkörpermuskulatur. Aufgrund schnellerer lokaler Muskelermüdung stoppten sie vor den Männern, lang bevor bei den Männern eine höhere Belastung bei der Atmung festgestellt wurde.

Für eine vorgegebene Atemmenge schien die kombinierte Arm-Bein-Arbeit tendenziell etwas mehr Arbeits-Output zu erzielen, diese war aber nicht signifikant.

Die Sauerstoff-Verbrauch bei Männern oder Frauen, gegen kumulative Arbeitsbelastung

(Abbildung 2) aufgetragen, zeigte keine statistisch signifikanten Veränderungen in den Steigungen der Gleichungen.



Dies scheint einleuchtend, weil der Sauerstoffverbrauch in direkter Relation zur erzeugten Arbeit stehen sollte. Die Tendenz, dass Armkurbeln weniger effizient erscheint, spiegelt wahrscheinlich die anaerobe Natur solcher Arbeit wieder.

Am aufschlussreichsten waren die Herzfrequenz-Daten relativ zur Leistungsabgabe (Abbildung 3).

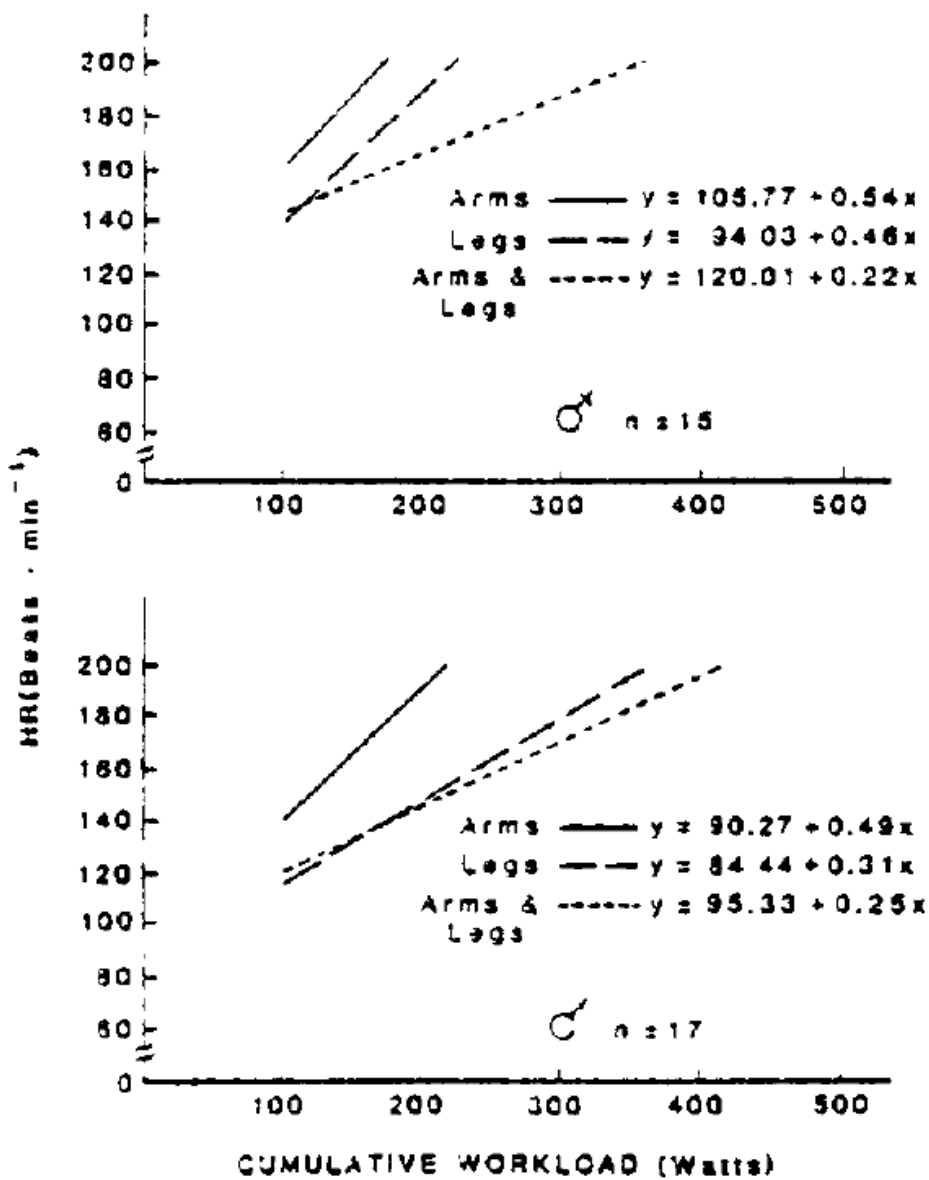


FIGURE 3 Heart Rate Response to Three Conditions of Power Production

Sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen zeigten die Daten bei kombinierten Arm-Bein-Kurbeln deutlich mehr Leistung bei Herzfrequenzen über 140 Schläge / Minute. Kurz gesagt, auch bei vorgegebener Herzfrequenz ist die Leistungsabgabe am höchsten, wenn mit Armen und Beinen zusammen angetrieben wird. Darüber hinaus scheint sich dieser Vorteil bei Annäherung an die Ermüdungsgrenze noch zu erhöhen.

Wenn wir die "maximalen" Daten aus allen Untersuchungsgegenständen kombinieren (die maximale kumulative Antriebsbelastung die bei Ermüdung erreicht wird und die physiologischen Daten entsprechend während diesem Zustand), dann war der Vorteil des kombinierten Arm-Bein-Kurbeln drastisch (Tabelle 1).

TABLE 1

MAXIMUM POWER OUTPUT AND CORRESPONDING PHYSIOLOGICAL RESPONSES TO THREE TYPES OF HUMAN POWER-PRODUCTION SYSTEMS

EXERCISE SYSTEM (Rotary Cranking)	MAX. H.R. -1 (Beats min)	VO ₂ max (ml kg min)	VE _{max} -1 (L min)	MAX CUMULATIVE Power Watts
Arms	160.06 ^a	23.73 ^a	76.98 ^a	499.09 ^a
Legs	169.75 ^b	33.75 ^b	97.85 ^b	1021.86 ^b
Arms & Legs	170.03 ^b	38.77 ^c	103.33 ^b	1339.55 ^c

Note: Components with different letters are significantly different (p<0.05) when compared columnwise.

Die Obergrenze der kumulierten Leistung war mit Armen und Beinen etwa 31% höher als im Vergleich zu den Beinen allein.

Um diese Differenz zu erreichen benötigt es etwa 15% mehr in Sauerstoffverbrauch.

Man könnte etwa annehmen, dass die 31% Vorteil in all-out Energieproduktion teilweise auf größere aerobe Stoffwechsel ($15/31 = 48\%$) und teilweise auf den anaeroben Stoffwechsel ($17/31 = 52\%$) zurückzuführen war.

Beim Armkurbeln an sich ist deutlich zu erkennen, dass es eine eher uneffiziente Energieerzeugung ist und, zumindest bei maximaler Anstrengung, wird es wahrscheinlich durch lokale Muskelermüdung begrenzt anstatt durch aeroben Unterstützungssystemen (vorausgesetzt, dass bei unseren Probanden eine durchschnittliche maximale Herzfrequenz auf nur 160 begrenzt war).

Zusammenfassung

Basierend auf der vorhergehenden Untersuchungen schlossen wir auf folgendes:

1. Kombinierte Arm-und-Bein-Energieerzeugung bietet einen entscheidenden Vorteil gegenüber Bein Kurbeln allein, vor allem in der Gesamtleistungsabgabe. Etwa die Hälfte von diesem Vorteil scheint aufgrund des erhöhten aeroben Stoffwechsels zu sein und zur anderen Hälfte durch anaerobe Arbeit.

2. Die Effizienz der Ausdauerleistung kann durch kombinierte Arm und Bein Arbeit verbessert werden.

Wir können nicht präzise sagen wie hoch der Vorteil ist, da der Leistungsvorteil offensichtlich davon abhängt, wie intensiv die Ausdauerleistung ist und wie hoch der relative Beitrag von Arm- zu Beinkraft ist.

3. Der Vorteil einer Arm-Bein betriebenen Maschine hängt weitgehend von der Umsetzung bezüglich des Mehrgewichts und der Reibung ab, die benötigt wird um einen Ganzkörperantrieb zu realisieren.

Postskriptum

In unserem Bemühen um ein effizientes und praktisches Arm-Bein-betriebenen Fahrrad sind wir nicht allein. Bei anderen Prototypen von hinterradangetriebenen Fahrzeugen, die wir erlebt und beobachtet haben, drehen sich die Hindernisse in der Entwicklung um die

Konzeption akzeptabler Lenksysteme die komfortabel und doch elegant einfach sind.

Beim Fahren von einigen unserer Arm-Bein-betriebenen Prototypen, bemerkte ich (mehr subjektiv), dass es noch einige nicht gemachte Versuche gibt, die Arm-und-Bein betriebene Fahrräder noch effizienter machen könnten.

Ich finde es fühlt sich am besten an, wenn man in regelmäßigen Abständen die Arme ausruht während man die Beinpedale noch betätigt.

Von der theoretischen Seite dieses Themas her, ist der nächste Schritt, zu untersuchen wie sich die Bioenergetik in der Erzeugung von Energie, bei unterschiedlichen Beiträgen von Arm- und Beineinsatz, verhält.

Dabei wäre das Ziel dieser Untersuchung, für den kombinierten Arm- und Beinantrieb das Optimum der Art oder Länge der Arm-Ruhezeiten zu bestimmen.

Physiologisch gesehen ist die Armmuskulatur nicht für aerobe (ausdauernde) Arbeit geschaffen. Es scheint in den Armen eine unverhältnismäßig hohe Zahl von schnellen Muskelfasern Typen (anaerob) zu geben, im Vergleich zu den mehr aeroben langsam zuckenden Fasern. Jedoch entsprechen unsere Ergebnisse dem Durchschnitt von jungen Erwachsenen.

Meine Vermutung ist, dass spezifisches Ausdauertraining in den Armen (siehe Rollstuhlsport) die bereits gezeigten Vorteile der kombinierten Arm-Bein-Energieerzeugung noch steigern können.