

Diskussion

In Stichpunkten: Aufbau der Diskussion anhand der formulierten Forschungsfragen und Hypothesen:

Forschungsfragen:

1. Unterschiede zwischen den Körperpositionen Sitzen und Stehen?
2. Unterschiede des *muskulär* bei den Belastungsintensitäten?
3. Unterschiede des *muskulär* zwischen den Belastungsintensitäten in den Körperpositionen?

Hypothesen:

1. Keine signifikanten Unterschiede des *muskulär* zwischen Sitzen und Stehen
2. Keine signifikanten Unterschiede des *muskulär* zwischen leichten, moderaten und schweren Belastungsintensitäten
3. Unterschiede zwischen den Intensitäten der Bedingungen
 1. Bei niedrigen Intensitäten gibt es keine signifikanten Unterschiede des *muskulär* zwischen sitzender und stehender Position.
 2. Bei mittleren und hohen Intensitäten gibt es keine statistisch signifikanten Unterschiede des *muskulär* zwischen sitzender und stehender Position

Wirkungsgradberechnungen

	Wirkungsgrade	Berechnung
Brutto		$\frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{mech}} + E_{\text{Aerob}}}$
Netto		$\frac{P_{\text{mech}}}{E_{\text{Aerob}} - E_{\text{Ruhe}}}$

Total	$P_{\text{mech}} / (E_{\text{Tot}} - E_{\text{Ruhe}})$
muskulär	$(P_{\text{mech}} + P_{\text{Int}}) / (E_{\text{Tot}} - E_{\text{Ruhe}})$
Arbeit	$P_{\text{mech}} / (E_{\text{Tot}} - E_{\text{Ruhe}} - E_{\text{Leerbewegung}})$
delta	$\Delta P_{\text{mech}} / \Delta E_{\text{Tot}}$

Zu Hypothese 1

- $\eta^2_{\text{muskulär}}$ signifikant höher in sitzender Position ($24.98 \pm 1.06\%$ vs. $24.07 \pm 0.96\%$) ($F(1,8) = 7.64$, $p = .024$, $\eta^2_p = .489$) → **Hypothese widerlegt**
 - Effekt primär durch signifikant höhere P_{Tot} in sitzender Bedingung bei konstanter W_{TOT}
 - Methodische Limitation: Berechnungsalidität von P_{Tot} bzw. P_{Int} für Stehen-Bedingung ist zu hinterfragen
 - Bei Ausklammerung von P_{Int} kein signifikanter Unterschied → siehe η^2_{Total}
- η^2_{Netto} und η^2_{Brutto} unterschieden sich nicht signifikant
 - Tendenziell höhere Werte in stehender Position

Zu Hypothese 2

- Signifikanter Effekt der Intensität auf $\eta^2_{\text{muskulär}}$ ($F(2,16) = 5.23$, $p = .018$, $\eta^2_p = .395$). $\eta^2_{\text{muskulär}}$ nimmt mit steigender Intensität ab ($24.94 \pm 1.27\%$ - $24.14 \pm 0.90\%$) → **Hypothese widerlegt**
 - Post-hoc-Analysen: Signifikanter Unterschied zwischen leicht und schwer ($p = .074$, $d = .75$)
 - Moderate und schwere sowie moderate und leichte Intensitätsstufen ohne statistisch signifikanten Unterschied
- Signifikanter Effekt der Intensität auf $\eta^2_{\text{muskulär}}$ innerhalb der Sitzen Bedingung ($F(2,16) = 10.19$, $p = .001$, $\eta^2_p = .560$). → **Hypothese widerlegt**
 - Post-hoc-Analysen: Signifikanter Unterschied zwischen leicht und schwer ($p = .017$, $d = 1.31$).
 - Moderat und leicht ($p = .217$, $d = .83$) sowie moderat und schwerer ($p = .427$, $d = .63$) nicht signifikant
- Wirkungsgradverhalten bei steigender Belastungsintensität:

- P_{TOT} für $P_{\text{muskulär}}$ bzw. P_{mech} für P_{Total} . Jedoch nur bei $P_{\text{muskulär}}$ signifikant, was womöglich damit zu erklären ist, dass P_{Int} nicht ansteigt mit steigender Belastungsintensität und somit der $P_{\text{muskulär}}$ noch stärker abfällt als P_{Total}
- $P_{\text{Arbeit,sitzen}}$ verhält sich mit steigender Belastungsintensität innerhalb der Sitzen Bedingung vergleichbar wie $P_{\text{muskulär}}$, da zwischen der leichten und schweren Belastungsintensität jeweils ein signifikanter Unterschied besteht. Die Unterschiede bestehen nur darin, wie die Kosten für die innere Leistung bestimmt wurden. Für $P_{\text{muskulär}}$ wurden diese anhand des biomechanischen Modells oder 3D-Kinematik errechnet, während der Sauerstoffumsatz für die Bewegungen anhand des Drehzahltests in $P_{\text{Arbeit,sitzen}}$ berechnet wurde. So scheinen beide Berechnungsansätze valide Methoden für die Bestimmung der inneren Arbeit zu sein. Für die stehende Bedingung können die beiden nicht verglichen werden, da P_{Arbeit} nicht für Stehen berechnet wurde
- P_{Netto} zeigt gegensätzliches Verhalten bei steigender Belastungsintensität. Die Mittelwerte von P_{Netto} steigen bei höheren Intensitäten im Mittel über beide Bedingungen, auch wenn keine signifikanten Unterschiede festzustellen sind. Innerhalb der jeweiligen Bedingungen zeigt sich ein sehr geringer nicht signifikanter Abfall für P_{Netto} , bzw. ein fast konstanter Nettowirkungsgrad innerhalb der Sitzen Bedingung, aber während dem Stehen ein konstanter nicht signifikanter Anstieg von leicht zu schwer
- P_{Brutto} steigt wie zu erwarten signifikant an mit steigender Intensität, was auf den kleiner werdenden prozentualen Anteil des Ruhenergieumsatzes zurückzuführen ist

Zu Hypothese 3

- Signifikanter Effekt zwischen der leichten Intensität zwischen Sitzen und Stehen von $P_{\text{muskulär}}$. Sitzen signifikant höher (25.68 ± 1.03 vs. 24.20 ± 1.05). Die statistische Analyse zeigt eine hohe Signifikanz und Effektstärke ($F(1,8) = 16.63$, $p = .004$, $\eta^2 = .675$) → **Hypothese bestätigt**
- Tendenziell signifikanter, aber nicht vollständig signifikanter Effekt zwischen der moderaten Intensität zwischen Sitzen und Stehen. Sitzen weiterhin numerisch höher (24.92 ± 0.78 vs. 24.08 ± 1.08) → **Hypothese tendenziell bestätigt**
- Nicht signifikanter Effekt von $P_{\text{muskulär}}$ zwischen der schweren Intensität zwischen Sitzen und Stehen. Sitzen numerisch höher (24.36 ± 0.99 vs. 23.92 ± 0.81), jedoch zeigt statistische Prüfung keine relevante Differenz ($F(1,8) = 1.41$, $p = .269$, $\eta^2 = .150$) → **Hypothese bestätigt**
- Unterschied in $P_{\text{muskulär}}$ zwischen Sitzen und Stehen nimmt mit steigender Intensität systematisch ab → **Hypothese bestätigt**

- Alle anderen Wirkungsgradberechnungsmethoden zeigen keine vergleichbaren signifikanten Ergebnisse.
 - Die konsistent höheren P_{Tot} bzw. P_{Int} -Werte im Sitzen über alle Intensitätsbedingungen hinweg legen nahe, dass die beobachteten Unterschiede höchstwahrscheinlich auf eine erhöhte berechnete innere Arbeitsleistung zurückzuführen sind

Erklärung der statistisch signifikanten Unterschiede von $P_{\text{muskulär}}$

- $P_{\text{muskulär}}$ und P_{Total} unterscheiden sich lediglich durch die Einbeziehung der inneren Arbeit. Die innere Arbeit variiert signifikant zwischen Sitzen (37.5 ± 11.3) und Stehen (22.1 ± 6.9).
- Die P_{Int} Mittelwerte bleiben über alle Intensitäten konstant, da sie drehzahlabhängig sind und die Drehzahl nahezu identisch bleibt. Dadurch zeigt sich eine deutlich größere Differenz zwischen $P_{\text{muskulär}}$ und P_{Total} von durchschnittlich 0.80 bei leichter und 0.34 bei schwerer Intensität, weil P_{Int} nahezu gleichbleibt, während der physiologische Energieumsatz steigt.
- Da P_{Int} im Sitzen signifikant höher war, ist $P_{\text{muskulär}}$ auch höher im Sitzen als im Stehen. Ohne Berücksichtigung von P_{Int} (wie in P_{Total}) zeigt sich keine Signifikanz. Daher repräsentiert P_{Total} eher die in der Literatur erwarteten Verhaltensweisen.
- SCHWÄCHEN VON P_{int} :
 - Berechnung ohne Rücksicht der potentiellen ENergie bei der BEcnung der inneren Leistung. Deshalb wahrscheinlich im sitzen unterschätz und im Stehen massiv unterschätzt. Aber für das stheen gibt es kien Vergleichswerte

Fazit von $P_{\text{muskulär}}$:

- $P_{\text{muskulär}}$ wahrscheinlich nur für das Sitzen repräsentativ, aber für die stehenden Bedingung wahrscheinlich etwas unterschätzt. Hier also noch mehr Forschungsbedarf, um die P_{Int} fürs Stehen noch präziser einschätzen zu können.
 - $P_{\text{muskulär}}$ wahrscheinlich valide Ergebnisse für das Fahren im Sitzen, aber die Ergebnisse für das Stehen sind anzuzweifeln.
 - Für den Vergleich der beiden Bedingungen wahrscheinlich P_{Total} am besten geeignet und hier sind im Gegensatz zu $P_{\text{muskulär}}$ keine signifikanten Ergebnisse zu sehen.

Relevanz für die Praxis

- Das Fahren im Stehen stellt bezüglich des Wirkungsgrades eine valide Alternative zum Sitzen dar, um kurzzeitig die Körperposition zu variieren und unterschiedliche Muskelgruppen zu belasten. Wie beschrieben, ist der gemittelte ^{muskulär} über alle Intensitäten in stehender Position niedriger als im Sitzen. Dieser Wirkungsgrad eignet sich jedoch, wie bereits diskutiert, für die Berechnungen im Sitzen nur bedingt als Bewertungsmethode.
- Ein entscheidender Aspekt beim Radfahren in der Praxis, der in der Studie nicht berücksichtigt wurde, ist der signifikante Anstieg des Luftwiderstands beim Wechsel von sitzender zu stehender Position. Dies kann insbesondere bei Profiradsportlern, die hohe Geschwindigkeiten sowohl auf ebenen Strecken als auch in bergigen Terrains erreichen, zu einer substantiellen Reduktion der Geschwindigkeit bei gleichbleibender mechanischer Leistung führen. Daher ist das Fahren im Stehen in der Praxis primär für kurze Zeitintervalle an steilen Anstiegen oder in Situationen mit geringer Geschwindigkeit sinnvoll, bei denen der Luftwiderstand gegenüber der Gravitationskraft oder dem Rollwiderstand eine untergeordnete Rolle spielt. Eine potenzielle Ausnahme bilden Situationen, in denen kurzzeitig sehr hohe mechanische Leistungen erforderlich sind. Gemäß vorliegender Literatur kann im Stehen über kurze Zeiträume eine höhere mechanische Leistung generiert werden.

Limitationen

- Geringe Stichprobengröße
- Leichte und moderate Intensität zu schwer
- Innere Leistung im Stehen vermutlich unterschätzt, da für gleiche Drehzahl kaum höher als im Sitzen
 - Wurde vergleichbar berechnet wie im Sitzen
 - Haltearbeit sowie vertikale Änderungen des Körperschwerpunktes nicht einbezogen
- Einfluss der leichten Belastung von 50 Watt in den Erholungsphasen auf die EPOC-Messung
 - Keine geregelte Trittrate in dieser Phase
- Zu kurze Erholung nach den jeweiligen Belastungen, vor allem an Testtag 2 nach dem Sprinttest
 - Sprinttest kontraproduktiv keine Rückkehr auf Laktat-Baseline
- Mögliche Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der ventilatorischen Schwellen durch das 30s-Stufenprotokoll im Vergleich zum BDR-Protokoll
- Mögliche Ungenauigkeiten bei der Modellierung der EPOC-Kurven und der Berechnung des WPCR aufgrund der 50-Watt Nachbelastung