

Diss. ETH N° 19526

# **New insights into cardiorespiratory function in health and disability**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

STEFANIE HOSTETTLER

MSc Biology, University of Berne

born November 7, 1976

citizen of Albligen, Berne

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. C. M. Spengler Walder, examiner  
Prof. Dr. U. Boutellier, co-examiner  
Prof. Dr. D. P. Wolfer, co-examiner

2011

## 1. Summary

Cardiovascular disease is the leading cause of mortality in developed countries. Certain risk factors (i.e. overweight, type II diabetes) are preventable and treatable through, for instance, physical activity. To estimate long-term training adaptations, it is time and cost efficient to examine the effectiveness of an acute training stimulus. Therefore, the aim of this work was to provide new insight into cardiorespiratory function in response to training modes that are relevant to cardiovascular health and performance.

Studies involving training of respiratory muscles suggest a beneficial effect on exercise performance. However, the results remain controversial because some studies have failed to show functional improvements in exercise performance. A determinant factor for an effective training stimulus might represent the lung volume at which respiratory efforts are performed.

Therefore, we investigated the extent to which respiratory muscle fatigue is associated with lung volume during inspiratory loaded breathing (ILB) in twelve healthy individuals. Lung volumes were estimated by use of optoelectronic plethysmography. We found that after ILB, six subjects significantly decreased maximal inspiratory pressure ( $-16 \pm 10\%$ ), while the other six subjects did not ( $0 \pm 7\%$ ). Only subjects with decreased respiratory muscle strength lowered end-expiratory rib cage volume (volume at which inspiration is started) below resting values during ILB. These results suggest, that respiratory muscle fatigue depends on the lung volume from which inspiratory efforts are initiated during ILB.

In contrast to ILB, the most straightforward way to improve cardiovascular health is through exercise modes involving large muscle groups (i.e. cycling). However, for individuals with

muscle paralysis, such as cervical spinal cord injury (cSCI), this is not applicable, thus cSCI commonly exhibit low levels of cardiorespiratory fitness. Therefore, effective cardiorespiratory training modes and measurement systems to reliably estimate cardiac function are of particular interest in this population.

The Innocor™ system allows non-invasive cardiac output determination. However, reliability of this technology may be compromised in cSCI due to the altered autonomic nervous system and reduced lung function. Therefore, we assessed the reliability at rest and during exercise in cSCI and compared it to pair-matched able-bodied individuals (AB). We found acceptable reliability of cardiac output measurements at rest and during exercise using Innocor™ in cSCI, and it was comparable to that found in AB.

Next, we aimed to determine whether arm-crank or wheelchair exercise has the greater potential to improve cardiorespiratory fitness in cSCI. We measured cardiorespiratory responses to exercise in cSCI and compared these to pair-matched AB. We found that cardiorespiratory responses to exercise were similar between the two exercise modes in cSCI and AB. However, cardiac output was lower in the cSCI compared to AB at identical workloads, mainly resulting from the inability of cSCI to increase stroke volume. This failure to increase stroke volume most likely results from impaired venous return related to an inefficient vasoconstrictor response in non-working muscles. Consequently, more effective training modes should be considered to ultimately enhance cardiovascular health in cSCI.

In conclusion, the present investigations on different training stimuli show important aspects to be considered to improve training concepts in health and disability.

## 2. Zusammenfassung

Kardiovaskuläre Erkrankungen gehören zu den häufigsten Todesursachen in der westlichen Bevölkerung. Einige der Risikofaktoren (z.B. Übergewicht, Typ II Diabetes) können durch körperliches Training verhindert oder vermindert werden. Um die Effektivität einer Trainingsintervention abzuschätzen, ist es sinnvoll und effizient, die Auswirkungen eines einzelnen Trainingsreizes zu untersuchen. Das Ziel dieser Arbeit ist daher, die Erkenntnisse hinsichtlich neuer Trainingsmodalitäten für Gesunde und körperlich Behinderte zu erweitern.

Zahlreiche Studien zeigen, dass ein Training der Atmungsmuskulatur die Leistungsfähigkeit verbessern kann, wobei einige Studien diesen Effekt nicht nachweisen konnten. Möglicherweise beeinflusst das Lungenvolumen während des Trainings die Effektivität dieser Trainingsart, ein Faktor, dem bis anhin wenig Beachtung geschenkt wurde.

Deshalb untersuchten wir den Zusammenhang von Atmungsmuskelermüdung und Lungenvolumen während inspiratorischem Widerstandsatmen. Während das Widerstandsatmen die Atmungsmuskelkraft bei einer Gruppe von sechs Probanden (A) reduzierte ( $-16 \pm 10\%$ ), blieb sie bei den restlichen sechs (B) unverändert ( $0 \pm 7\%$ ). Es zeigte sich, dass nur die Gruppe A die Einatmung bei einem Volumen unterhalb des Ruhewertes startete. Das heisst, dass die Atmungsmuskelermüdung abhängig ist vom Lungenvolumen, bei dem das Widerstandsatmen durchgeführt wird, was entsprechend wichtige Konsequenzen für das Training der Atmungsmuskulatur hat.

Die optimalste Weise die Fitness zu verbessern ist jedoch, wenn möglich, ein Ganzkörpertraining. Allerdings ist diese Art von Training für Menschen mit zervikaler

Querschnittlähmung (zQL) aufgrund der extensiven Muskellähmung nicht möglich, was häufig eine Reduktion der kardiorespiratorischen Fitness zur Folge hat. Effektive Trainingsmodalitäten und entsprechende Messmethoden, um die kardiovaskuläre Fitness zu testen, sind deshalb von wichtiger Bedeutung für diese Personengruppe.

Ein neuartiges System (Innocor<sup>TM</sup>) erlaubt die nicht-invasive Bestimmung des Herzminutenvolumens nebst anderer Parameter. Allerdings könnte die Reliabilität dieses Messsystems bei zQL als Folge veränderter autonomer Regulation und reduzierter Lungenfunktion kompromittiert sein. Unsere Untersuchung zeigte jedoch, dass das System auch bei zQL reliabel ist und dass die Reliabilität im Rahmen derer von Fussgängern liegt.

Mittels Innocor<sup>TM</sup> untersuchten wir daher, ob sich Armkurbeln oder Rollstuhlfahren besser eignet, um die kardiorespiratorische Fitness von zQL zu verbessern. Zu diesem Zweck bestimmten wir die maximalen kardiorespiratorischen Belastungen während diesen Aktivitäten in zQL und Fussgängern. Innerhalb der Gruppen unterschied sich die kardiorespiratorische Belastung nicht zwischen den beiden Modalitäten. Hingegen war das Herzminutenvolumen der zQL tiefer als dasjenige der Fussgänger bei gleicher Leistung, was hauptsächlich darauf beruhte, dass sich bei den zQL, das Schlagvolumen nicht erhöhte. Kleine Schlagvolumina bei zQL sind möglicherweise die Folge einer fehlenden sympathischen Vasokonstriktion in der nicht-arbeitenden Muskulatur. Es zeigt sich daher, dass auch maximale Armbelastungen bei zQL kaum zu einem Training des kardiovaskulären Systems führen und dass deshalb nach anderen Trainingsmodalitäten gesucht werden muss.

Zusammenfassend zeigt diese Arbeit neue, trainingsrelevante Aspekte, welche für die Optimierung von Trainingskonzepten von wichtiger Bedeutung sind.