



Doctoral Thesis

Cardiac output and stroke volume dynamics during exercise and their adaptations to different exercise paradigms in healthy subjects

Author(s):

Fontana, Piero Walter

Publication Date:

2010

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006132729> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH No. 18955

Cardiac output and stroke volume
dynamics during exercise and their
adaptations to different exercise
paradigms in healthy subjects

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Piero Walter Fontana

Dipl Natw ETH
born November 9, 1976
citizen of Bruzella, Ticino

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Urs Boutellier, examiner
Dr. Marco Toigo, co-examiner
Prof. Dr. David P. Wolfer, co-examiner

2010

Summary

Maximal oxygen consumption represents the highest amount of oxygen that can be taken up and utilised by the body during severe exercise. Due to the positive correlation between maximal oxygen uptake and endurance performance, maximal oxygen uptake is widely used as a performance predicting parameter in athletes as well as for socioeconomic reasons. Furthermore, maximal oxygen uptake is considered as a predictor of mortality, linked to cardiovascular disease, and is thought to represent an indirect measure for peak cardiac output. However, according to the Fick principle, maximal oxygen uptake represents the product of peak cardiac output and systemic arterio-venous oxygen difference. Therefore, maximal oxygen uptake may consist of a central (i.e. peak cardiac output) and a peripheral (i.e. peak systemic arterio-venous oxygen difference) component, which may contribute to a different extent to between subject variations (e.g. between athletes and untrained individuals) as well as to within-subject changes (e.g. after training) in maximal oxygen consumption. Consequently, for investigating performance changes as well as for classifying individuals, not only maximal oxygen consumption, but also the central and the peripheral component within the Fick principle should be considered. However, to date, it is unclear, how specific exercise paradigms (i.e. sprint-interval training and conventional endurance training) affect peak cardiac output and peak systemic arterio-venous oxygen difference, and whether

the determinants of maximal oxygen consumption can be selectively trained, if highly specific exercise paradigms are employed.

Consequently, the aims of the present doctoral thesis are to establish reliable and non-invasive peak cardiac output determinations by InnocorTM inert gas rebreathing in healthy individuals and to subsequently discern between adaptations in peak cardiac output and peak systemic arterio-venous oxygen difference after either sprint-interval training or conventional endurance training. In order to establish the non-invasive peak cardiac output measurements using InnocorTM and subsequently investigate the central as well as peripheral effects of sprint-interval and conventional endurance training, we performed 4 different studies, of which the first 2 served for establishing the methodology and the second 2 were used to investigate the effects of the different exercise paradigms.

During the studies, which were used for establishing the methodology for non-invasively measuring peak cardiac output by InnocorTM inert gas rebreathing, we found low coefficients of variation and low changes in the mean, as well as high intraclass correlation coefficients for peak cardiac output determinations using InnocorTM. Furthermore, we found that cardiac output can easily be measured in healthy individuals during standard graded exercise tests and that haemodynamics quickly adapt after power stage transitions at moderate to high submaximal power. During the studies, which we used to examine the effects of sprint-interval and conventional endurance training, we found that during Wingate tests, haemodynamics reach values similar to peak graded cycling exercise. Furthermore, we found that only 3 weeks of sprint-interval training improve the central component of maximal oxygen consumption (i.e. peak cardiac output and corresponding stroke volume), whereas only conventional endurance training increases the peripheral component (i.e. peak systemic arterio-venous oxygen difference) within the Fick principle.

Our findings indicate that InnocorTM can be used in order to reliably measure peak cardiac output in healthy individuals during standard graded exercise tests during scientific studies as well as for performance diagnostics reasons. Furthermore, our findings show that depending on highly specific exercise paradigms, the central as well as the peripheral component of maximal oxygen consumption (in terms of the Fick principle) can be selectively improved. In particular, sprint-interval training may alter peak cardiac output, whereas conventional endurance training may affect peak systemic arterio-venous oxygen difference. Therefore, classifications of individuals as well as the analysis of performance variations based on maximal oxygen consumption should only be considered in conjunction with measurements of haemodynamics and systemic arterio-venous oxygen difference.

Zusammenfassung

Die maximale Sauerstoffaufnahme stellt die höchste, während maximaler Belastung gemessene Menge an Sauerstoff dar, die vom Körper aufgenommen und anschliessend verwendet werden kann. Aufgrund der positiven Korrelation zwischen maximaler Sauerstoffaufnahme und Ausdauerleistungsfähigkeit, wird die maximale Sauerstoffaufnahme häufig zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit von Athleten sowie zur Klassifizierung von Individuen zu sozioökonomischen Zwecken verwendet. Des Weiteren dient die maximale Sauerstoffaufnahme der Vorhersage von Herz-Kreislauf erkrankungsbasierten Todesfällen und scheint ein indirektes Mass für das maximale Herzminutenvolumen darzustellen.

Gemäss dem Fick Prinzip, liegen der maximalen Sauerstoffaufnahme das maximale Herzminutenvolumen und die maximale systemische arterio-venöse Sauerstoffdifferenz zu Grunde. Deshalb scheint die maximale Sauerstoffaufnahme aus einer zentralen (d.h. maximales Herzminutenvolumen) und aus einer peripheren (d.h. maximale systemische arterio-venöse Sauerstoffdifferenz) Komponente zu bestehen. Diese beiden Komponenten tragen möglicherweise in unterschiedlicher Ausprägung zu Leistungsunterschieden zwischen Athleten und untrainierten Individuen sowie zu Veränderungen der Leistungsfähigkeit innerhalb eines Individuums bei. Aus diesem Grund sollten zur Beschreibung von trainingsbedingten Leistungsverbesserungen sowie zur Analyse von interindi-

viduellen Leistungsunterschieden möglicherweise nicht nur die maximale Sauerstoffaufnahme, sondern auch deren Einzelkomponenten berücksichtigt werden. Bis zum heutigen Tag ist es jedoch unklar, wie spezifische Trainingsmethoden (d.h. Sprint-Intervall Training und konventionelles Ausdauertraining) die zentrale und die periphere Komponente innerhalb des Fick Prinzips beeinflussen und ob das maximale Herzminutenvolumen und die maximale systemische arterio-venöse Sauerstoffdifferenz durch hochspezifische Trainingsmethoden getrennt verbessert werden können.

Aus diesen Gründen bestehen die Ziele der vorliegenden Dissertation einerseits in der Etablierung der nicht-invasiven Herzminutenvolumen Messung mittels InnocorTM bei gesunden Individuen und andererseits in der Unterscheidung von trainingsspezifischen Adaptationen der zentralen und peripheren Komponente innerhalb der Fick Gleichung. Zwecks Etablierung der nicht-invasiven Herzminutenvolumenmessung mittels InnocorTM sowie zur Unterscheidung von potentiellen zentralen und peripheren Anpassungen an Sprint-Intervall und Ausdauertraining, führten wir 4 verschiedene Studien durch, wobei die ersten 2 Studien der Etablierung der Messmethodik und die weiteren 2 Studien der Untersuchung der (haemodynamischen) Trainingseffekte dienten.

In den ersten beiden Studien (Etablierung der Messmethoden) zeigte sich anhand von tiefen Variationskoeffizienten und tiefen Abweichungen der Mittelwerte sowie anhand von hohen *intraclass* Korrelationskoeffizienten, dass die Herzminutenvolumenmessungen mit InnocorTM in gesunden Individuen reliabel sind. Des Weiteren konnten wir zeigen, dass die Herzminutenvolumenmessungen in Standard-Stufentests integriert werden können und dass sich das Herzminuten- sowie das Schlagvolumen nach Stufenerhöhungen rasch auf dem neuen Wert einpendeln. In den Studien, welche die Effekte von Sprint-Intervall und konventionellem Ausdauertraining untersuchten, fanden wir einerseits,

dass Herzminuten- und Schlagvolumen während eines Wingate Tests ähnliche Werte wie unter Maximalbelastung während eines Stufentests erreichen. Andererseits konnten wir zeigen, dass ausschliesslich 3 Wochen Sprint-Intervall Training das maximale Herzminuten- und Schlagvolumen verbessern, während nur konventionelles Ausdauertraining die maximale systemische arterio-venöse Sauerstoffdifferenz erhöht.

Unsere Studienergebnisse belegen, dass das maximale Herzminutenvolumen mittels InnocorTM in gesunden Individuen während Stufentests in wissenschaftlichen Studien und zu leistungsdiagnostischen Zwecken reliabel gemessen werden kann. Des Weiteren zeigen unsere Studiendaten, dass die zentrale und periphere Komponente innerhalb der Fick Formel durch hochspezifische Trainingsmethoden separat trainiert werden können. Dies äussert sich in der Tatsache, dass Sprint-Intervall Training das maximale Herzminutenvolumen erhöht, während konventionelles Ausdauertraining die maximale systemische arterio-venöse Sauerstoffdifferenz verbessert. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, zukünftig sowohl die Beschreibung von Trainingsfortschritten, als auch die Klassifikation von Individuen auf der Basis der maximalen Sauerstoffaufnahme durch die Messungen des maximalen Herzminutenvolumens und der maximalen systemischen arterio-venösen Sauerstoffdifferenz zu ergänzen.