



Doctoral Thesis

Mechanismen der Ausdauerlimitierung durch die Atmungsmuskulatur

Author(s):

Renggli, Andrea Sandra

Publication Date:

2007

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005466677> →

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. 17336

Mechanismen der Ausdauerlimitierung durch die Atmungsmuskulatur

Abhandlung zur Erlangung des Titels
Doktorin der Wissenschaften
der
ETH Zürich

vorgelegt von
Andrea Sandra Renggli

Dipl. Lm.-Ing. ETH
geboren am 14. April 1977
von
Nebikon, Luzern
Rothenburg, Luzern

Angenommen auf Antrag von
PD Dr. C. M. Spengler Walder, Referentin
Prof. Dr. U. Boutellier, Korreferent
Prof. Dr. M. Müntener, Korreferent

2007

1. Zusammenfassung Englisch

Respiratory muscle fatigue can occur during an isolated breathing task as well as during high intensity exercise and it can reduce exercise performance. Respiratory muscle endurance or strength training can improve respiratory endurance, exercise performance and reduce the perception of adverse respiratory sensations like breathlessness and respiratory exertion. The mechanisms behind are, however, still unknown.

First, we tested how inspiratory and expiratory muscles fatigue in the course of high-intensity, voluntary hyperpnea (HYP) and whether the recruitment of the different respiratory muscle groups changes in the course of the test at a constant ventilation. A change in respiratory muscle recruitment was described during exercise-induced hyperpnea in the presence of continuously increasing ventilation only. 14 men were studied during an intermittent normocapnic hyperpnea test at 71% of maximal voluntary ventilation (8 min HYP – 6 min rest – 8 min HYP, etc) until task failure. Trans-diaphragmatic pressure during phrenic nerve stimulation decreased ($-28 \pm 7\%$) during the first 16 min of HYP and abdominal pressure during thoracic nerve stimulation decreased ($-19 \pm 7\%$) during the first 8 min of HYP. There was no further decrease until exhaustion (25.3 ± 4.7 min). With the development of fatigue, the recruitment of inspiratory and expiratory rib cage muscles increased relative to the diaphragm and the abdominal muscles. Additionally, the perception of adverse respiratory sensations and blood lactate concentration increased similarly and remained unchanged until exhaustion. However, none of the tested parameters seems to be responsible for task failure. We conclude, that contractile fatigue of the diaphragm and abdominal muscle is responsible for the observed changes in respiratory muscle recruitment during hyperpnea.

In a second study, we tested the effect of two different respiratory muscle training regimes, respiratory muscle endurance (ET; normocapnic hyperpnea) and inspiratory resistive training (RT) on respiratory muscle fatigue, exercise performance and the perception of adverse respiratory sensations. A third group performed sham training (SHAM) and a fourth group served as a non-training control (CON). 33 young, healthy men were divided into four groups (ET: n=9; RT: n=10, SHAM: n=8, CON: n=6). Time to exhaustion during HYP (similar to the one described above) increased after ET (22 ± 4 min vs. 40 min; $P < 0.001$) and RT (26 ± 5 min vs. 36 ± 7 min; $P=0.025$), but not after SHAM (26 ± 3 min vs. 28 ± 8 min; $P=0.466$). Inspiratory muscles fatigued less after ET ($P=0.047$) and the inspiratory rib cage muscles seem to fatigue less after ET ($P=0.024$) as well as RT ($P=0.015$). Although expiratory muscles were also loaded during ET, the overall level of

fatigue during HYP remained unchanged after ET. Only ET reduced respiratory exertion (RE; $P=0.008$) and blood lactate concentration ($P=0.002$) during HYP suggesting metabolic changes within the respiratory muscles. Exercise performance in a cycling endurance test with coached high ventilation did not increase in either group despite reduced perception of RE after ET, indicating that a reduction in respiratory muscle fatigue and respiratory sensations alone could not be responsible for the increased exercise performance observed in earlier respiratory training studies. Running time improved in a 3-km time trial ($P=0.034$) after ET only with unchanged perception of RE. This might suggest that a reduction in respiratory muscle fatigue can increase performance in particular when these muscles are additionally loaded due to body stabilisation work.

In a third study, we tested the influence of constant-load intensive voluntary hyperpnea on leg blood flow. Earlier studies showed an increase in muscle sympathetic nerve activity and a reduction in leg blood flow with increased respiratory work (resistive breathing) at rest and during exercise. These effects were attributed to respiratory muscle fatigue, which could then be responsible for the reduced performance during intensive exercise or for improvements after respiratory muscle training. In our study, however, leg blood flow increased during fatiguing normocapnic hyperpnea. We therefore suggest that factors other than respiratory muscle fatigue are responsible for the observed reduction in leg blood flow in previous studies and that these factors are more important in the regulation of leg blood flow during exercise. This is indirectly confirmed with the results of the respiratory muscle training study described above.

2. Zusammenfassung Deutsch

Die Atmungsmuskulatur kann während isolierten Atmungsbelastungen oder intensiven sportlichen Belastungen ermüden und die Ausdauerleistungsfähigkeit reduzieren. Ein Atmungsausdauer- oder Atmungskrafttraining hingegen kann sowohl die Atmungsausdauer als auch die körperliche Ausdauerleistungsfähigkeit verbessern und die Wahrnehmung negativer Atmungsempfindungen, wie Atemnot oder Atmungsanstrengung, reduzieren. Die den Veränderungen zugrunde liegenden Mechanismen sind noch ungeklärt.

Es wurde zuerst untersucht, wie die in- und expiratorische Atmungsmuskulatur im Verlauf von intensiver, willentlicher Hyperpnoe bei konstanter Ventilation ermüdet, und ob die Muskelrekrutierung ermüdungsbedingt ändert, da bisher eine veränderte Atmungsmuskelrekrutierung nur während belastungsinduzierter, stetig steigender Ventilation beschrieben wurde. 14 Männer führten einen Atmungsausdauer-Test (AAT; 8 min normokapnische Hyperpnoe bei 71% des Atemgrenzwertes – 6 min Pause – 8 min Hyperpnoe, usw.) bis zur Erschöpfung durch. Kontraktilitätsmessungen der Atmungsmuskulatur während Magnetstimulation der entsprechenden Nerven zeigten eine Reduktion der Kontraktionskraft des Zwerchfells ($-28 \pm 7\%$) während der ersten 16 min und der Abdominalmuskulatur ($-19 \pm 7\%$) während der ersten 8 min der Hyperpnoe, wobei keine weitere Reduktion bis zum Zeitpunkt der Erschöpfung (25.3 ± 4.7 min) erkennbar war. Mit Entwicklung der Ermüdung wurde die in- und expiratorische Thoraxmuskulatur relativ zum Zwerchfell bzw. zur Abdominalmuskulatur vermehrt rekrutiert. Wir schliessen jedoch, dass die veränderte Atmungsmuskelrekrutierung während intensivem Atmen auf der Ermüdung des Zwerchfells und der Abdominalmuskulatur beruht.

In einer weiteren Studie wurde der Einfluss zweier Atmungstrainingsarten, einem Atmungsausdauertraining (AT; normokapnische Hyperpnoe) und einem inspiratorischen Widerstandstraining (WT), auf die Atmungsmuskelermüdung, die Ausdauerleistungsfähigkeit und die Wahrnehmung negativer Atmungsempfindungen untersucht. Eine zusätzliche Gruppe führte ein 'Pseudo'training (SHAM) durch und eine weitere Gruppe diente als nicht-trainierende Kontrolle (KON). 33 junge, gesunde Männer wurden in die vier Gruppen (AT: n=9; WT: n=10; SHAM: n=8; KON: n=6) eingeteilt. Die Zeit bis zur Erschöpfung im AAT (analog dem oben beschriebenen) nahm nach AT (22 ± 4 min vs. 40 min; $P < 0.001$) und WT (26 ± 5 min vs. 36 ± 7 min; $P=0.025$) zu, nicht aber nach SHAM (26 ± 3 min vs. 28 ± 8 min; $P=0.466$). Nach AT konnte eine geringere Ermüdung der Inspirationsmuskulatur gemessen werden ($P=0.047$) und die inspiratorische

Thoraxmuskulatur schien sowohl nach AT ($P=0.024$) als auch nach WT ($P=0.015$) weniger zu ermüden. Hingegen führte AT trotz der im Training zusätzlich belasteten Expirationsmuskulatur nicht zu einer geringeren Ermüdung derselben. Nur nach AT waren sowohl Atmungsanstrengung (AA; $P=0.008$) als auch die Blutlaktatkonzentration ($P=0.002$) im AAT reduziert, was auf einen veränderten Metabolismus der Atmungsmuskulatur hindeutet. Die Ausdauerleistungsfähigkeit in einem Fahrradausdauerstest mit gegebener, hoher Ventilation verbesserte sich jedoch in keiner der Gruppen trotz reduzierter Wahrnehmung von AA nach AT, was zeigt, dass die Reduktion der Ermüdung der Atmungsmuskulatur und der negativen Empfindung allein nicht für die früher festgestellte Ausdauerverbesserung nach AT und WT verantwortlich zu sein scheint. Ebenfalls einzig nach AT war die Laufzeit im 3-km Lauf verbessert ($P=0.034$) bei unveränderter AA, was bedeuten könnte, dass eine reduzierte Atmungsmuskelermüdung in erster Linie eine Leistung verbessert, bei der diese Muskulatur durch Stabilisationsarbeit zusätzlich belastet wird.

In einer dritten Studie wurde der Einfluss von willentlicher, intensiver Hyperpnoe konstanter Intensität auf den Beinblutfluss untersucht. Bisher wurde bei erhöhter Atmungsarbeit (Atmen gegen einen äusseren Widerstand) in Ruhe oder unter Belastung eine Erhöhung der Muskelsympathikusaktivität und eine Beinblutfluss-Abnahme beobachtet, die auf die Ermüdung der Atmungsmuskulatur zurückgeführt wurde. Dies könnte die Reduktion der Ausdauerleistungsfähigkeit bei intensiver Belastung bzw. die Verbesserung nach Atmungstraining erklären. In unseren Untersuchungen stieg der Beinblutfluss jedoch an während ermüdender normokapnischer Hyperpnoe. Wir vermuten daher, dass andere Faktoren als die Ermüdung der Atmungsmuskulatur selbst zur früher beobachteten Reduktion des Beinblutflusses führten, und dass diese Faktoren auch wichtiger sind in der Regulation des Beinblutflusses während körperlicher Belastung. Dies wird indirekt auch durch die Resultate der Atmungstrainingsstudie bestätigt.