

Charité – Universitätsmedizin Berlin

Campus Benjamin Franklin

Aus dem Institut für Sportmedizin

Direktor Prof. Dr. D. Böning

**Höhen und Trainingseffekte auf die Erythropoese bei Frauen
Vergleichende Untersuchungen in Kolumbien und Deutschland**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades

Doktor rerum medicarum

der Charité – Universitätsmedizin Berlin

vorgelegt von

Dipl.- Biol. Edgar Cristancho Mejía

aus Tunja / Kolumbien

Rerferent: Prof. Dr. D. Böning

Korreferent: Prof Dr. W. Schmidt

Gedrückt mit Genehmigung der Charité – Universitätsmedizin Berlin

Campus Benjamin Franklin

Promoviert am: 02. 04. 2004

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	1
1.1. STAND DER FORSCHUNG	1
1.1.1. Regulation der Erythropoese	1
1.1.2. Höhenanpassung im Bereich von Atmung und Blut	2
1.1.3. Trainingsanpassung	4
1.1.4. Wechselwirkung von Höhe und Training	5
1.1.5. Alterseffekt	6
1.2. ZIELE DER ARBEIT	7
2. METHODEN	7
2.1. VERSUCHSPERSONEN	8
2.2. ABLAUF DER STUDIE	10
2.2.1. Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_2max)	10
2.2.2. Bestimmung der Gesamthämoglobinmasse und der Blutvolumina	12
2.2.3. Bestimmung des Körperfettanteils	15
2.2.4. Ernährungsanalyse	15
2.3. DATENAUSWERTUNG	16
3. ERGEBNISSE	18
3.1. HÖHEN- UND TRAININGEFFEKT BEI JUNGEN FRAUEN	18
3.1.1. Anthropometrie	18
3.1.2. Maximale aerobe Leistungsfähigkeit (VO_2max)	19
3.1.3. Ernährungsauswertung	19
3.1.4. Arterielle Sättigung und Hämatologische Messungen	20
3.1.5. Die Hb-Masse	21
3.1.6. Blutvolumina	21
3.1.7. Hb-Masse, Blutvolumen und der Zusammenhang mit der VO_2max .	23
3.1.7.1. Kovarianzanalyse	23
3.1.7.2. Regressionsanalyse	24
3.1.8. Indikatoren der Erythropoese	27
3.1.9. Indikatoren des Eisenstoffwechsels	29
3.1.9.1. Überprüfung von Eisenmangelfällen	29
3.1.10. Menstruationszyklus, Kontrazeptiva und Zusammenhang mit den Blutvolumina und der Hb-Masse	30
3.2. UNTERSUCHUNGEN AN BERGSTEIGERINNEN	32
3.2.1. Anthropometrie und maximale aerobe Leistungsfähigkeit (VO_2max)	32

3.2.2. Arterielle Sättigung, hämatologische Messungen und Hb-Masse	34
3.2.3. Blutvolumina	34
3.2.4. Indikatoren der Erythropoese und des Eisenstoffwechsels	36
3.3. UNTERSUCHUNGEN AN POSTMENOPAUSALEN FRAUEN	37
3.3.1. Arterielle Sättigung und hämatologische Messungen	37
3.3.2. Die Hb-Masse	37
3.3.3. Blutvolumina	38
3.3.5. Zusammenhang zwischen Hb-Masse oder Blutvolumen und $VO_2\max$.	41
4. DISKUSSION	41
4.1. METHODISCHE BETRACHTUNGEN	41
4.1.1. Anthropometrie	41
4.1.2. Maximale aerobe Leistungsfähigkeit ($VO_2\max$)	41
4.1.3. Die CO-Rückatmungsmethode	42
4.1.3.1. Fehlerquellen bei Bestimmungen durch die CO-Rückatmungsmethode	43
4.1.3.2. Der HbCO-Verlauf	44
4.1.4. Blutvolumina	45
4.2. HÖHEN- UND TRAININGSEFFEKTE BEI JUNGEN FRAUEN	47
4.2.1. Maximale aerobe Leistungsfähigkeit ($VO_2\max$)	47
4.2.2. Arterielle Sättigung	47
4.2.3. Hämatologische Messungen	48
4.2.4. Die Hb-Masse	48
4.2.4.1. Höheneffekt	48
4.2.4.2. Trainingseffekt	49
4.2.5. Blutvolumina	50
4.2.5.1. Höheneffekt	50
4.2.5.2. Trainingseffekt	51
4.2.6. Korrelationsanalyse	52
4.2.6.1. Die Hb-Masse	52
4.2.6.2. Blutvolumina	52
4.2.7. Mögliche Ursachen für die geringe Hb-Masse-Veränderungen in Hypoxie bei Frauen	54
4.2.7.1. Atmung und weibliche Hormone	54
4.2.7.2. Genetik	54
4.2.8. Mögliche Ursachen für eine niedrigere $VO_2\max$ bei Höhenbewohnerinnen	55
4.2.8.1. Körperliche Aktivität	55
4.2.8.2. Genetik	55
4.2.8.3. Ernährung	55
4.2.9. Eisenstoffwechsel und Erythropoeseindikatoren	56

4.2.9.1. Ferritin und löslicher Transferrin-Rezeptor	56
4.2.9.2. Erythropoietin und Reticulocytenzahl	58
4.2.10. Menstruationszyklus und Kontrazeptiva. - Zusammenhang mit der Hb-Masse und den Blutvolumina.	59
4.3. UNTERSUCHUNGEN AN BERGSTEIGERINNEN	62
4.3.1. Hämatologische Messungen	62
4.3.2. Die arterielle Sättigung und die Hb-Masse	62
4.3.3. Blutvolumina	63
4.4. UNTERSUCHUNGEN AN POSTMENOPAUSALEN FRAUEN	64
4.4.1. Anthropometrie	64
4.4.2. Maximale aerobe Leistungsfähigkeit (VO ₂ max)	64
4.4.3. Arterielle Sättigung	65
4.4.4. Die Hb-Masse	65
4.4.4.1. Alter und Höhe	65
4.4.4.2. Alter und Training	66
4.4.5. Blutvolumina	66
4.4.5.1. Alter und Höhe	66
4.4.5.2. Alter und Training	66
4.4.6. Die Leistungsfähigkeit und der Zusammenhang mit dem Blutvolumen und der Hb-Masse	67
4.4.4. Eisenstoffwechsel und Erythropoeseindikatoren	67
5. SCHLUSSFOLGERUNGEN	69
6. ZUSAMMENFASSUNG	70
7. LITERATUR	72
8. DANKSAGUNG	87
9. LEBENSLAUF	88