

Zum Verhalten von Laktatkonzentration und Herzfrequenz in der Regenerationsphase unter Swingtrainer-CPM nach Fahrrad- und Swingtrainerergometrie sowie Krafttraining

Christoph Raschka¹, Joze Volavsek¹, Rüdiger Preiß²

¹Institut für Sportwissenschaft der Julius-Maximilians-Universität, Würzburg, ²Institut für Sportwissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main

Einleitung und Zielsetzung

Die Regeneration zwischen aufeinander folgenden Belastungen ist im (Leistungs)-Sport nicht nur für intervallmäßige Sportarten und von Pausen unterbrochene Wettkampfverläufe, in Bezug auf die nachfolgende Leistungsfähigkeit, von Bedeutung.

Ahmadi et al. (1996) untersuchten 10 männliche Probanden hinsichtlich des Effekts der aktiven Regeneration auf die Laktatkonzentration und die konsekutive Leistung während intermittierender Belastungen. Dabei kristallisierte sich heraus, dass eine aktive Regeneration direkt im Anschluss an eine hochintensive Belastung die Erholung fördert und Muskellaktat schneller abbaut als eine passive Pausengestaltung. Zwischen zwei intensiven Belastungen verblieb eine Untersuchungsgruppe passiv, während die andere mit 30-prozentiger Intensität fortfuhr. In der aktiven Gruppe sank der Blutlaktatspiegel rascher. Auch die Leistung fiel in der nachfolgenden Belastung besser aus. Bond et al. (1991) kamen nach einem vergleichbaren Testschema (zwei 60-sekündige intermittierende Belastungen bei 150% der $VO_2\text{max}$ und 20-minütiger aktiver oder passiver Pause) ebenfalls zu signifikant höheren Ergebnissen hinsichtlich der „aktiven“ Laktatelimination. Auch Thiriet et al. (1993) gelangten zu dem Resultat, dass durch aktive Regeneration ein signifikanter Einfluss auf die Blutlaktatelimination ausgeübt wird und dies sich vorteilhaft auf die Konservierung der Leistung in nachfolgenden Belastungen auswirkt. Sie ließen 16 Probanden vier erschöpfende intermittierende Belastungen von jeweils 2 Minuten Dauer mit entweder passiver oder aktiver Pausengestaltung durchführen. Des weiteren untersuchten Vaile et al. (2008) den Effekt von Kaltwasser-Immersion und anschließender aktiver oder passiver Pausengestaltung zwischen zwei 30-minütigen Fahrradergometerbelastungen, mit dem Ergebnis einer signifikant niedrigeren Laktatkonzentration nach aktiver Regeneration. Der Effekt der schnelleren Laktatelimination mittels aktiver Regeneration wird von weiteren Studien an diversen Probandenkollektiven bestätigt (Monedero und Donne 2000, Gupta et al. 1996, Taoutaou et al. 1996).

Die Intensitäten für eine optimale Laktatelimination während aktiver Regeneration werden häufig als Prozentsatz der VO_2max angegeben und reichen von 30% bis 70% (vgl. Baldari et al., 2005). McMaster et al. (1989) führen diesbezüglich einen Bereich von 55% - 75% der maximalen Belastungs- / Wettkampfgeschwindigkeit an. Baldari et al. (2005) wiesen in einer Studie an Triathleten nach, dass eine Intensität entsprechend der individuellen anaeroben Schwelle den optimalen Wirkungsbereich für die aktive Regeneration darstellt. Vergleichbare Ergebnisse lieferten auch Greenwood et al. (2008). Sie untersuchten bei 14 männlichen Schwimmern den Einfluss verschiedener Intensitätsvorgaben für eine 10-minütige aktive Regeneration (Schwimmen) auf die Laktatelimination und die nachfolgende Performance zwischen zwei maximalen 200-yard Schwimmeinlagen. Alle untersuchten Intensitäten (50%, 100% und 150% der ventilatorisch ermittelten aeroben Schwelle) ergaben signifikant bessere Resultate sowohl bezüglich des Laktatabbaus als auch im Hinblick auf die Performance in der nachfolgenden zweiten Maximalbelastung, wobei einer Regenerationsbelastung genau an der aeroben Schwelle die höchste Bedeutung zukam.

In der vorliegenden Untersuchung wird mit der Swingtrainer-CPM (Continuous Passive Motion) eine neue Methode der Regenerationsgestaltung vorgestellt. Das Ziel der Studie bestand darin, den Einfluss der Swingtrainer – CPM gegenüber einer passiv (sitzend) gestalteten Pause nach Fahrrad- und Swingtrainerergometrie sowie Krafttraining auf das Verhalten von Laktatkonzentration und Herzfrequenz in der Regenerationsphase durch vergleichende Untersuchungen anhand eines Probandenkollektivs von 22 Freizeitsportlern im Alter von 18 – 32 Jahren darzustellen. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf der Laktatelimination und der Herzfrequenzminderung.

Methodik:

Untersuchungsgeräte

1. Swingtrainer

Der Swingtrainer APH Typ 50/3, ist ein CPM – Ganzkörper – Bewegungsgerät, welches von der deutschen Gesellschaft für Therapie- und Sportgeräte, Theraspo, hergestellt wird (Abmessungen: 120 cm Länge, 60 cm Breite, 120 cm Höhe, Gesamtgewicht 70 kg). Der Swingtrainer arbeitet nach dem elektrodynamischen Prinzip mit einem 4 – stufigen Riemensgetriebe. Die Belastung ist manuell in drei Stufen von ca. 100, 200 und 300 Watt einstellbar. Darüber hinaus verfügt der Swingtrainer über den sogenannten CPM – Modus (CPM = Continuous Passive Motion), in welchem das Gerät die vorgegebene Bewegung eigenständig ausführt (vgl. Raschka 2011).



Photo 1: Swingtrainer der Gesellschaft für Therapie- und Sportgeräte mbH (THERASPO), Gelnhausen

2. Fahrradergometer

Verwendet wurde ein Ergometer der Firma Life Fitness, Typ 95Ci. Dieser Ergometertyp arbeitet nach dem elektrodynamischen Prinzip mit einem einstellbaren Riemengetriebe. Die Belastung ist über 25 Stufen oder optional manuell programmierbar (Abmessungen: 110,5 cm Länge, 53,3 cm Breite, 151,1 cm Höhe, Gesamtgewicht 79,8 kg). Die maximale Belastung liegt bei 500 Watt.

3. Multipresse:

Das Bankdrücken erfolgte an der Gym80 Multidrückstation der Klasse S (Studio; Abmessungen: 150 cm Länge, 213 cm Breite, 210 cm Höhe).

4. Latzugmaschine:

Das Rückentraining erfolgte am Gym80 4-Stationen-Turm der Klasse S (Studio; Abmessungen: 130 cm Länge, 250 cm Breite, 240 cm Höhe; Gesamtgewicht 860 kg inklusive der Steckgewichte (610 kg)).

5. Beinpresse:

Die Beinpresse der Firma Gym80 ist ein stationäres Trainingsgerät der Klasse S (Studio; Abmessungen: 220 cm Länge, 125 cm Breite, 157 cm Höhe; maximal zu überwindende Last: 250 kg).

6. Polar – Pulsuhr

Das System Pulsuhr F11 der Firma Polar bestimmt die durchschnittliche und maximale Herzfrequenz. Es besteht aus einem Brustgurt und einem Armbandempfänger (Messgenauigkeit der Herzfrequenz $\pm 1\%$ oder ± 1 bpm, Messbereichsspanne 30 – 240 bpm).

7. Lactate Scout⁺

Der Lactate Scout⁺ der Firma SensLab GmbH arbeitet mit einem enzymatisch-
amperometrischen Messverfahren zur Bestimmung der Laktatkonzentration aus frischem
Kapillarblut (Messbereich: 0,5 – 25,0 mmol/l; Probevolumen 0,5 µl; Messdauer: 10 s;
konzentrationsabhängiger Variationskoeffizient: 3% – 8%; Umgebungsbedingungen:
Temperatur: $\geq +5^{\circ}\text{C}$; $\leq +45^{\circ}\text{C}$, relative Luftfeuchtigkeit < 85%; Abmessungen: 91 x 55 x
24 mm, Gewicht 80 g (inkl. Batterien)).

Probandenkollektiv

Die Stichprobe setzt sich aus $n = 22$ durchschnittlich trainierten Freizeitsportlern
zusammen (12 Männer, 10 Frauen, Männer: Alter in *Jahren* MW $26,7 \pm \text{SD } 2,1$, Gewicht in
kg MW $78,0 \pm \text{SD } 8,5$, Größe in *cm* MW $182,4 \pm \text{SD } 6,9$ und BMI in *kg/m²* MW $23,4 \pm \text{SD } 1,7$;
Frauen: Alter in *Jahren* MW $22,0 \pm \text{SD } 2,6$, Gewicht in *kg* MW $59,7 \pm \text{SD } 2,5$, Größe in
cm MW $167,1 \pm \text{SD } 5,6$ und BMI in *kg/m²* MW $21,4 \pm \text{SD } 0,9$).

Untersuchungsdesign

Die vorliegende Untersuchung setzt sich aus einer Eingangsuntersuchung, Stufentests auf
dem Swingtrainer und dem Fahrradergometer sowie einem Krafttraining zusammen. Die
Probanden wurden vor Untersuchungsbeginn randomisiert in drei Gruppen aufgeteilt.
Gruppe 1 bezog sich auf den Swingtrainer, Gruppe 2 auf das Fahrradergometer und
Gruppe 3 auf das Krafttraining. Innerhalb der Gruppen absolvierten die Probanden jeweils
zwei Belastungstests, denen zwei unterschiedliche Regenerationsvarianten
angeschlossen waren. Auch diesbezüglich erfolgte eine Randomisierung. Die gesamte
Studie war zudem in einem Cross – Over – Design angelegt. Der Reihenfolge der
Gruppen wurden die Probanden ebenfalls randomisiert zugeordnet.

Die Untersuchungen fanden in einem Fitnessstudio bei konstanten Temperaturen von 19 –
22°C statt. Die Pause zwischen den insgesamt sechs Belastungstests betrug bei allen
Probanden mindestens 5 und maximal 9 Tage. Die Belastungstests der einzelnen
Probanden fanden immer zur gleichen Tageszeit statt.

Eingangsuntersuchung

Eine Woche vor Beginn des Belastungszyklus musste der Proband anlässlich einer kurzen
Eingangsuntersuchung nach Aufklärung über den genauen Verlauf der Studie durch den

Versuchsleiter seine Zustimmung in einer schriftlichen Einverständniserklärung abgeben. Nach Erhebung der anthropometrischen Daten wurden der BMI berechnet und für den Krafttrainingsteil das 1 RM (Wiederholungsmaximum) jedes Probanden für die drei Testübungen (Bankdrücken, Latziehen, Beinpresse) bestimmt. Dieser Wert dient als Basis für die individuelle Festlegung der Gewichte nach der Hypertrophiemethode (60-80% der Maximalkraft bei 10 Wiederholungen, vgl. Weineck, 2004, S. 259).

Zum Abschluss der Eingangsuntersuchung absolvierten die Probanden einige Minuten zur Eingewöhnung auf dem Swingtrainer sowohl im aktiven als auch im passiven CPM – Modus, da die Bewegungsamplitude für viele ungewohnt war. In dieser Zeit konnten durch den Versuchsleiter Feinabstimmungen bzgl. der Sitzposition und der Fußstützen vorgenommen werden.

Testdurchführung und Regenerationsgestaltung

Swingtrainerergometrie

Der Swingtrainer verfügt über 3 manuell einstellbare Belastungsstufen von ca. 100, 200 und 300 Watt. Die Belastungsdauer betrug 5 Minuten je Stufe, um eine der Fahrradergometrie ähnliche Gesamtdauer der Belastung zu gewährleisten. Vor jedem Belastungsbeginn wurden zunächst Ruhelaktat und Ruheherzfrequenz des Probanden ermittelt. Zwischen den jeweiligen Belastungsstufen erfolgte dann eine 30-sekündige Unterbrechung zur Blutentnahme. Nach Belastungsende schloss sich unmittelbar eine 25-minütige Regenerationsphase an, welche die Probanden entweder passiv auf einem Stuhl sitzend oder im CPM – Modus auf dem Swingtrainer absolvierten. Während dieser Zeit wurden in Intervallen von 5 Minuten die Laktatkonzentration und die Herzfrequenz der Probanden ermittelt und protokolliert.

Fahrradergometrie

Das Testschema orientiert sich an den Angaben von Rost & Hollmann (1982, S. 40). Lediglich die Anfangsbelastung wurde auf 80 Watt heraufgesetzt. Die Steigerungsrate bis zur Ausbelastung betrug 35 Watt, bei einer Belastungszeit von 3 Minuten. Somit ergibt sich eine Belastungsanstiegsgeschwindigkeit von 11,7 W/min.

Krafttraining

Nach der individuellen Festlegung des 1 RM in der Eingangsuntersuchung führten die Probanden jeweils 3 Sätze á 10 Wiederholungen mit 70 Prozent ihres 1 RM pro Station

durch. Das Bankdrücken bildete den Anfang, gefolgt vom Latzug und der Beinpresse. Die Pausendauer zwischen den einzelnen Sätzen betrug 2 Minuten. Nach jeder Station wurden die Herzfrequenz- und Laktatwerte gemessen.

Messmethodik

Laktatbestimmung

Die kapillare Laktatkonzentration im Blut wurde vor (nach vorangegangener 10 minütiger Ruhephase), während und bis 25 Minuten nach Belastungsende erfasst. Im Verlauf der Belastung erfolgte die Registrierung des Laktatwertes bei Swingtrainer- und Fahrradergometrie nach jeder Stufe, beim Krafttraining nach jedem dritten Belastungssatz einer Muskelgruppe. Nach Belastungsende wurde die Laktatkonzentration während der 25-minütigen Regenerationsphase in 5 Minuten – Intervallen aufgezeichnet.

Statistik

Nach Überprüfung der intervallskalierten Daten auf Normalverteilung wurde der Einfluss der Swingtrainer – CPM auf die Regeneration varianzanalytisch geprüft.

Resultate: Fahrradergometrie

Laktatdifferenz zwischen Belastungsabbruch und 20 Minuten Regeneration

Tabelle 1: Laktatdifferenz (in mmol/l) für den Zeitraum von Belastungsabbruch bis 20 Minuten Regeneration, untergliedert nach Regenerationsgestaltung und Geschlecht

Geschlecht	Regenerationsgestaltung	n	Mittelwert	Std. Fehler	Std. Abweichung
männlich	cpm	12	4,38	0,19	0,67
männlich	passiv	12	3,88	0,22	0,77
gesamt	-	24	4,13	0,15	0,75
weiblich	cpm	10	6,99	0,44	1,40
weiblich	passiv	10	5,81	0,52	1,64
gesamt	-	20	6,40	0,36	1,61
gesamte Stichprobe	-	44	5,16	0,25	1,66

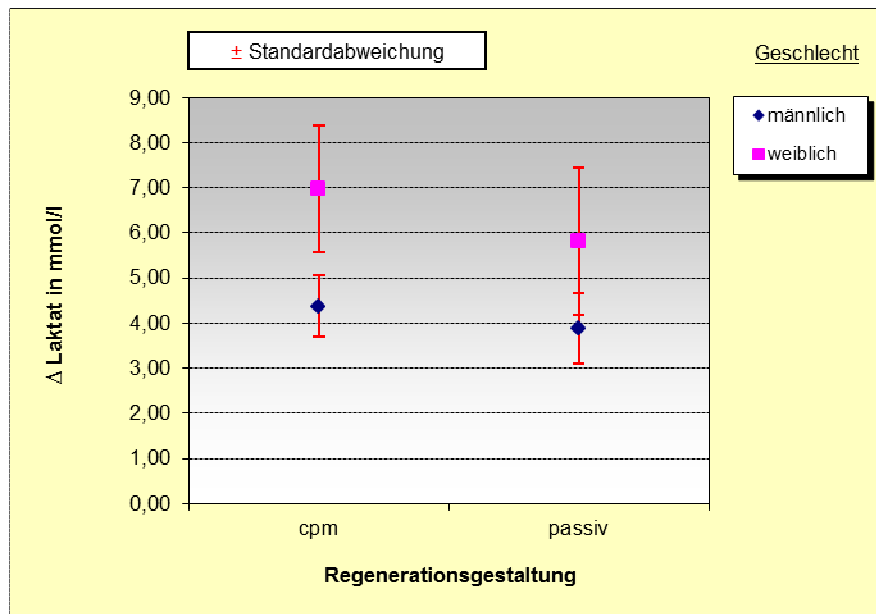


Abbildung 1: Graphische Präsentation der Laktatdifferenz (in mmol/l), eingeteilt nach Regenerationsgestaltung und Geschlecht

Tabelle 2: Inferenzstatistische Analyse der Ergebnisse bzgl. der Laktatdifferenz zwischen Belastungsabbruch und 20 Minuten Regeneration mittels Varianzanalyse (Faktoren: Regenerationsgestaltung, Geschlecht)

	QS	FG	mQS	F	p
Regenerationsgestaltung	7,12	1	7,12	5,32	0,026
Geschlecht	56,26	1	56,26	42,05	0,001
Residue	54,85	41	1,34	-	-
gesamt	118,22	43	2,75	-	-

Laktatdifferenz zwischen Belastungsabbruch und 25 Minuten Regeneration

Tabelle 3: Tabellarische Darstellung der Laktatdifferenz (in mmol/l) zwischen Belastungsabbruch und 25 Minuten Regeneration, aufgeschlüsselt nach Regenerationsgestaltung und Geschlecht

Geschlecht	Regenerationsgestaltung	n	Mittelwert	Std. Fehler	Std. Abweichung
männlich	cpm	12	5,43	0,18	0,63
männlich	passiv	12	4,93	0,29	0,99
gesamt	-	24	5,18	0,17	0,85
weiblich	cpm	10	8,01	0,47	1,49
weiblich	passiv	10	6,67	0,60	1,89
gesamt	-	20	7,34	0,40	1,79
gesamte Stichprobe	-	44	6,16	0,26	1,73

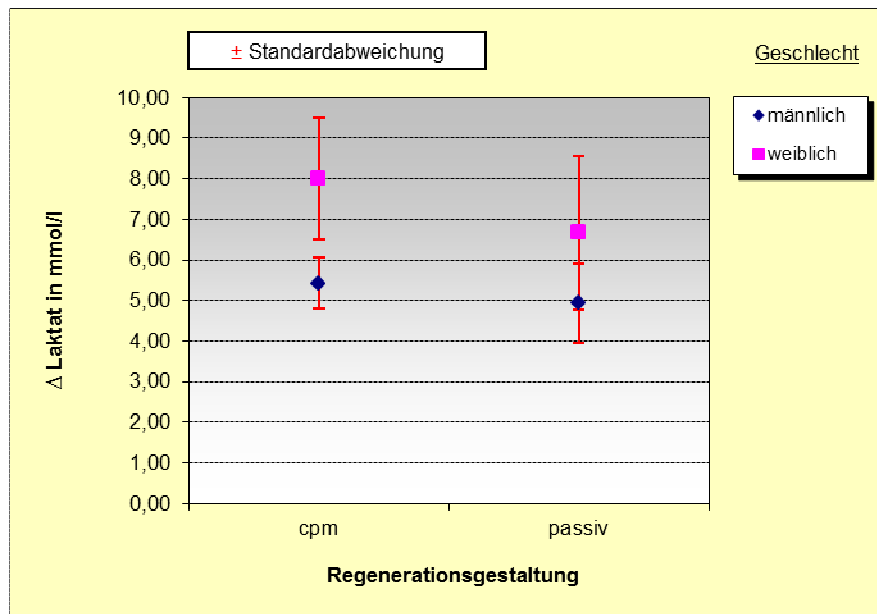


Abbildung 2: Graphische Mittelwertdarstellung der Laktatdifferenz (in mmol/l), gruppiert nach Regenerationsgestaltung und Geschlecht

Tabelle 4: Inferenzstatistische Analyse der Ergebnisse bzgl. der Laktatdifferenz zwischen Belastungsabbruch und 25 Minuten Regeneration mittels Varianzanalyse (Faktoren: Regenerationsgestaltung, Geschlecht)

	QS	FG	mQS	F	p
Regenerationsgestaltung	8,55	1	8,55	5,08	0,030
Geschlecht	50,74	1	50,74	30,14	0,001
Residue	69,03	41	1,68	-	-
gesamt	128,32	43	2,98	-	-

Resultate: Krafttraining

Laktatdifferenz zwischen Belastungsstufe 3 und 5 Minuten Regeneration

Tabelle 5: Laktatdifferenzdarstellung (in mmol/l) zwischen Belastungsabbruch und 5 Minuten Regeneration, differenziert nach Regenerationsgestaltung und Geschlecht

Geschlecht	Regenerationsgestaltung	n	Mittelwert	Std. Fehler	Std. Abweichung
männlich	cpm	12	1,94	0,37	1,29
männlich	passiv	12	0,92	0,16	0,54
gesamt	-	24	1,43	0,22	1,10
weiblich	cpm	10	1,45	0,18	0,57
weiblich	passiv	10	1,19	0,17	0,53
gesamt	-	20	1,32	0,12	0,55
gesamte Stichprobe	-	44	1,38	0,13	0,89

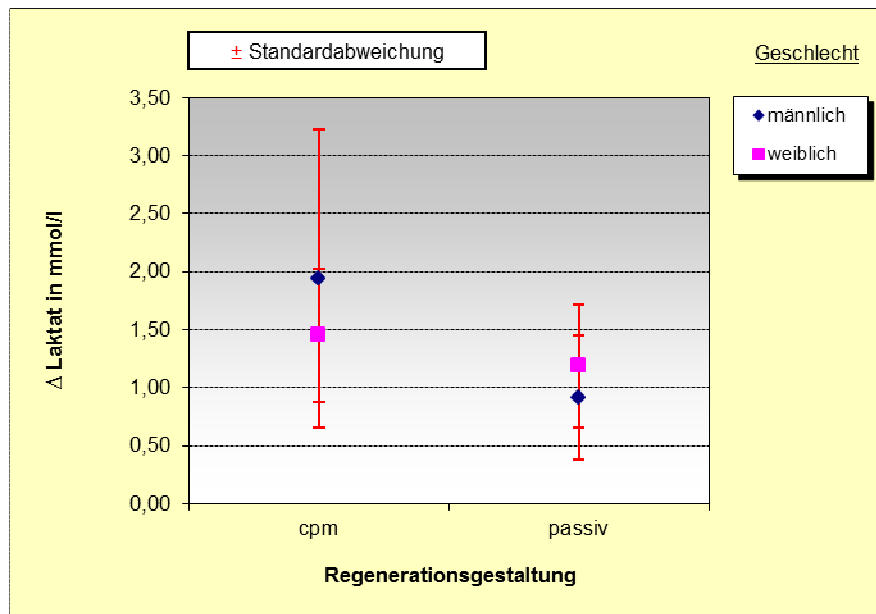


Abbildung 3: Graphische Darstellung der Laktatdifferenz (in mmol/l), eingeteilt nach Regenerationsgestaltung und Geschlecht

Tabelle 6: Inferenzstatistische Analyse der Ergebnisse bzgl. der Laktatdifferenz zwischen Belastungsabbruch und 5 Minuten Regeneration mittels Varianzanalyse (Faktoren: Regenerationsgestaltung, Geschlecht)

	QS	FG	mQS	F	p
Regenerationsgestaltung	5,05	1	5,05	7,26	0,010
Geschlecht	0,13	1	0,13	0,19	0,668
Residue	28,48	41	0,69	-	-
Gesamt	33,65	43	0,78	-	-

Laktatdifferenz zwischen Belastungsstufe 3 und 10 Minuten Regeneration

Tabelle 7: Deskriptive tabellarische Darstellung der Laktatdifferenz (in mmol/l) zwischen Belastungsstufe 3 und 10 Minuten Regeneration, untergliedert nach Regenerationsgestaltung und Geschlecht

Geschlecht	Regenerationsgestaltung	n	Mittelwert	Std. Fehler	Std. Abweichung
männlich	cpm	12	2,90	0,21	0,74
männlich	passiv	12	2,28	0,27	0,92
gesamt	-	24	2,59	0,18	0,88
weiblich	cpm	10	2,12	0,32	1,02
weiblich	passiv	10	1,70	0,23	0,73
gesamt	-	20	1,91	0,20	0,89
gesamte Stichprobe	-	44	2,28	0,14	0,94

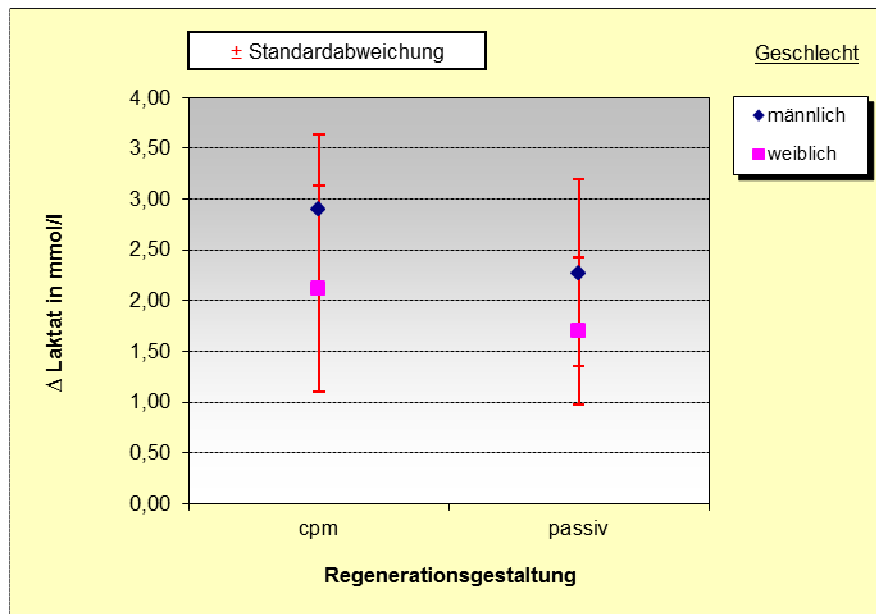


Abbildung 4: Deskriptive graphische Darstellung der Laktatdifferenz (in mmol/l), eingeteilt nach Regenerationsgestaltung und Geschlecht

Tabelle 8: Inferenzstatistische Analyse der Ergebnisse bzgl. der Laktatdifferenz zwischen Belastungsstufe 3 und 10 Minuten Regeneration mittels Varianzanalyse (Faktoren: Regenerationsgestaltung, Geschlecht)

	QS	FG	mQS	F	p
Regenerationsgestaltung	3,11	1	3,11	4,30	0,044
Geschlecht	5,01	1	5,01	6,93	0,012
Residue	29,63	41	0,72	-	-
Gesamt	37,75	43	0,88	-	-

Diskussion:

Aktive Regeneration während einer Belastung:

Einige Studien deuten darauf hin, dass aktive Interventionen mit geringer Intensität zwischen Serien mit Schnellkraft/Sprint – Belastungen (vgl. Ahmadi et al. 1996 & Bond et al. 1991) und Kraftausdauerbelastungen (vgl. Thiriet et al. 1993 & Vaile et al. 2008) eine verbesserte Leistungsfähigkeit ab der zweiten Serie mit sich bringen. Thiriet et al. (1993) führen dies auf eine raschere Verschiebung der Flüssigkeit zwischen intra- und extravaskulären Kompartimenten infolge aktiver Regeneration zurück. Signorile et al. (1993) akzentuieren einen rascheren Ausgleich des Säure-Basen-Gleichgewichts innerhalb der Muskelzelle. Trotzdem ist noch nicht vollends geklärt, ob eine erhöhte Laktateliminationsrate auch wirklich von Vorteil für nachfolgende Belastungen wäre. Zwar deuten die angeführten Studien von Ahmadi et al. (1996) und Thiriet et al. (1993) auf einen positiven Effekt. Allerdings konnten in den Studien von Bond et al. (1991) und Vaile et al. (2008) lediglich signifikant bessere Laktateliminationen, nicht aber

Performancesteigerungen gegenüber passiven Methoden (und den damit verbundenen höheren Laktatwerten) nachgewiesen werden. Auf der anderen Seite konnten Monedero und Donne (2000) an 18 Radfahrern bedeutsame Verbesserungen nachfolgender Ausdauerleistungen unter aktiver Regeneration nachweisen. Gleiches gilt für die erbrachte Leistung nach Maximaltests, wie Studien von Bogdanis et al. (1996) sowie Ahmadi et al. (1996) demonstrieren, ebenso für erschöpfende Belastungen (vgl. Thiriet et al, 1993). Ursächlich könnte hier möglicherweise eine raschere Normalisierung des pH – Werts zugrunde liegen (Vgl. Sairyo et al. 2003).

Aktive Regeneration nach einer Belastung

Die gebräuchliche Bezeichnung für eine aktive Nachbereitungsmaßnahme ist als 'cool down' bekannt. Nach einer Belastung ist der Körper bestrebt, in möglichst kurzer Zeit wieder das Optimum des funktionellen Ausgangszustands (Homöostase) für ausgelenkte Funktionssysteme zu erreichen. Zahlreiche Studien haben eine deutliche Verkürzung für die Halbwertszeit der Laktatkonzentration nach aktiver Regeneration belegt. Auch die vorliegende Studie stützt diese Untersuchungsergebnisse.

Fahrradergometrie:

Die durchschnittliche Laktatkonzentration zum Zeitpunkt des Abbruchs der Fahrradergometrie war für Männer und Frauen mit $11,71 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 1,61$ respektive $11,87 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 2,26$ annähernd gleich und fiel wesentlich höher als bei der Swingtrainerergometrie aus. Nach de Marées (2002, S. 523) erreicht die Frau annähernd die gleichen maximalen Laktatkonzentrationen im Blut wie der Mann

Von diesen Werten ausgehend, lassen sich für die Regenerationsgestaltung tendenziell signifikante bis signifikante Einflüsse einer verbesserten Laktatelimination durch die Swingtrainer-CPM aufzeigen (Abb. 5-10). Schon für den Zeitraum der ersten fünf Minuten nach Belastungsende kann ein deutlicher Mittelwertunterschied bezüglich der Regenerationsgestaltung konstatiert werden ($p=0,14$). Das Geschlecht stellt hier einen hochsignifikanten Faktor dar. Die Zeiträume von Belastungsende bis 15, 20 und 25 Minuten Regeneration zeigen alle einen tendenziell signifikanten bis signifikanten Einfluss der Swingtrainer-CPM auf die Laktatelimination. Der Zeitraum von Belastungsende bis 15 Minuten Regeneration ist mit $p=0,07$ tendenziell signifikant hinsichtlich der Regenerationsgestaltung mit der Swingtrainer-CPM ($3,05 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 0,52$ zu $2,77 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 0,76$ für die Männer und $5,76 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 1,15$ zu $4,69 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 1,86$ für die Frauen). Die Männer weisen auch für die Zeiträume vom Belastungsende bis 20

respektive 25 Minuten Regeneration mit Differenzen von jeweils 0,5 mmol/l nur kleinere Unterschiede bezüglich der Regenerationsgestaltung auf. Die Laktatdifferenzen bei den weiblichen Probandinnen hingegen liegen für beide Zeiträume im signifikanten Bereich ($p < 0,05$). Für den Bereich zwischen Belastungsende und 20 Minuten betragen sie 6,99 mmol/l $\pm$ SD 1,40 zu 5,81 mmol/l $\pm$ SD 1,64 und bis 25 Minuten Regeneration sogar 8,01 mmol/l $\pm$ SD 6,67 zu 6,67 mmol/l $\pm$ SD 1,89.

Diese Resultate werden auch von weiteren Studien zur aktiven Regeneration gestützt. Eine Untersuchung von Baldari et al. (2005) an 8 männlichen Triathleten nach Laufbandergometrie ergab, dass alle angewendeten aktiven Maßnahmen einen signifikant niedrigeren Laktatspiegel als die passive Regeneration hervorriefen. Zudem konnte für den Zeitraum von 9 bis 20 Minuten nach der Belastung eine signifikant bessere Laktatelimination bei einer Intensität von 50% der Differenz zwischen individueller anaerober Schwelle und aerober Schwelle nachgewiesen werden.

Eine mögliche Erklärung für den langsameren Abbau des Laktats bei den männlichen Probanden der vorliegenden Studie könnte das erhöhte Nachbelastungslaktat sein.

Untersuchungen über eine mögliche Geschlechterdifferenz hinsichtlich der Regeneration nach sportlichen Belastungen kamen in der Vergangenheit stets zu dem Ergebnis, dass Frauen nicht anders regenerieren als Männer und auch bezüglich der Auswirkungen der Interventionsmaßnahmen kein geschlechtsspezifischer Unterschied vorhanden ist. Mader et al. (1979) fanden bei Untersuchungen nach 400- und 800-Meter-Läufen von Männern und Frauen keine Unterschiede hinsichtlich des Laktatverhaltens und des Säure-Basen-Status.

Unabhängig von der Intensität dieser Regenerationsbelastung existieren wenige Aussagen darüber, wie diese aktive Erholung genau aussehen soll. In den meisten Studien verwendete man für die Regenerationsbelastung dieselbe Form, welche den Laktatanstieg provozierte. Denadai et al. (2000) konnten bei der Untersuchung von 9 Triathleten und Schwimmern, die entweder zwei 200-Meter-Läufe oder zwei 50-Meter-Schwimmsprints mit einer 2-minütigen Pause absolvierten, mit einer anschließenden 30-minütigen Regeneration (passiv, aktiv Schwimmen oder Laufen an der individuellen aeroben Schwelle) aufzeigen, dass zum einen die zwei aktiven Regenerationsmaßnahmen der passiven, hinsichtlich der Laktatelimination, signifikant überlegen waren und zum anderen die Kombination aus Schwimmbelastung und Laufen in der Erholungsphase die signifikant schnellste Laktatelimination aufwies. Diese Ergebnisse zeigen, dass eine aktive Regeneration auf jeden Fall die Laktatelimination beschleunigt, wobei sich möglicherweise sogar eine Aktivität mit vorher inaktiver Muskulatur empfiehlt.

Eine ähnliche Empfehlung geben auch Baker & King (1991), welche die Laktatabbaugeschwindigkeit bei unterschiedlicher Pausengestaltung (passiv, aktiv Fahrradergometer, aktiv Armergometer mit alternierenden 2,5-minütigen Belastungs- und Erholungsperioden) nach Belastung auf dem Kanuergometer untersuchten. Das Nachbelastungslaktat erreichte bei der passiven und Armbewegungsregeneration den höchsten Wert nach 5 Minuten und bei der Beinbewegung nach 2 Minuten. Die Beinbewegungsregeneration unterschied sich hochsignifikant von vollständiger Ruhe und signifikant von der Armbewegungsregeneration. Zwischen vollständiger Pause und Armbewegungsregeneration gab es keinen Unterschied. Daraus könnte man schließen, dass das durch Armarbeit verursachte Laktat besser durch Bein- als durch erneute Armarbeit abgebaut werden könnte. Bonen & Belcastro stellten bereits 1976 fest, dass die kontinuierliche Belastung in der Regeneration wirksamer als die von Pausen unterbrochene ist.

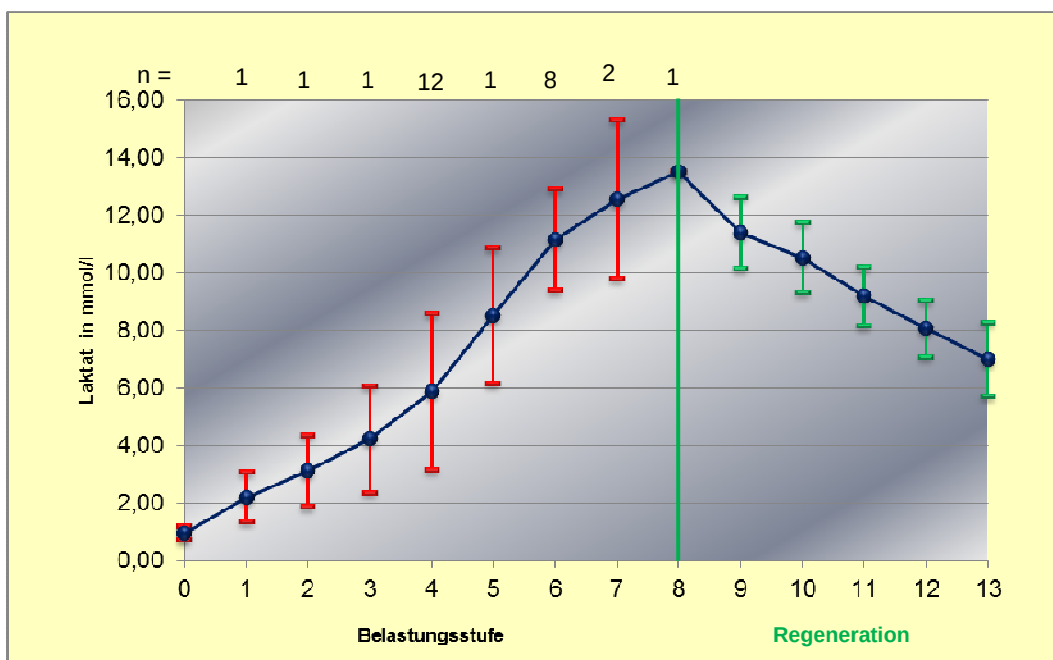


Abbildung 5: Laktatverhalten (Blut) nach Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und anschließender passiver Regeneration der männlichen Probanden

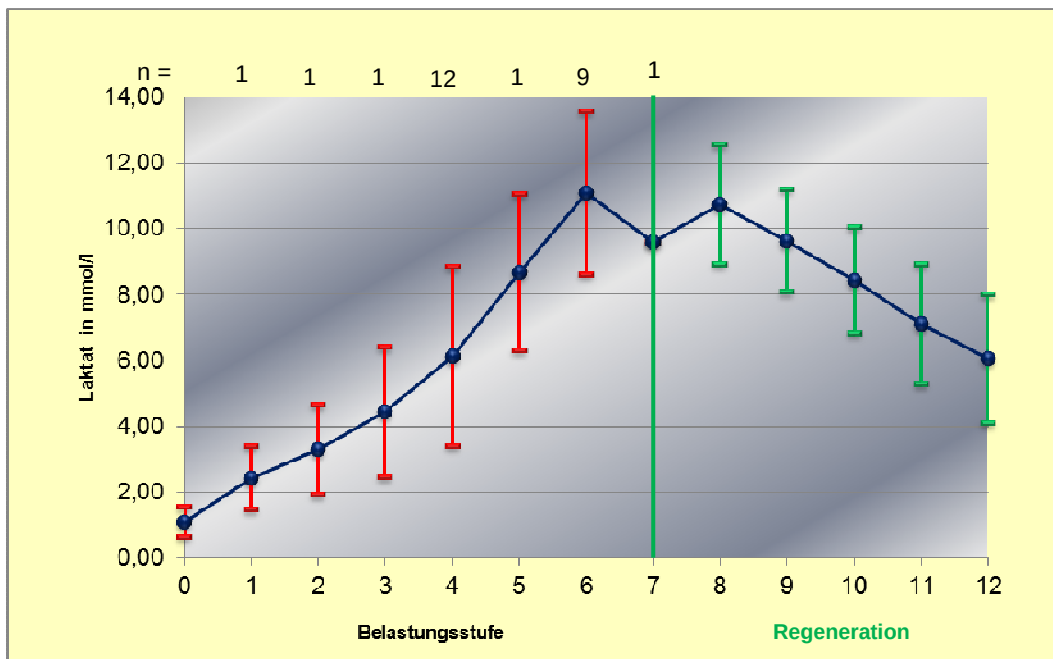


Abbildung 6: Laktatverhalten (Blut) nach Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und anschließender Swingtrainer-CPM Regeneration der männlichen Probanden

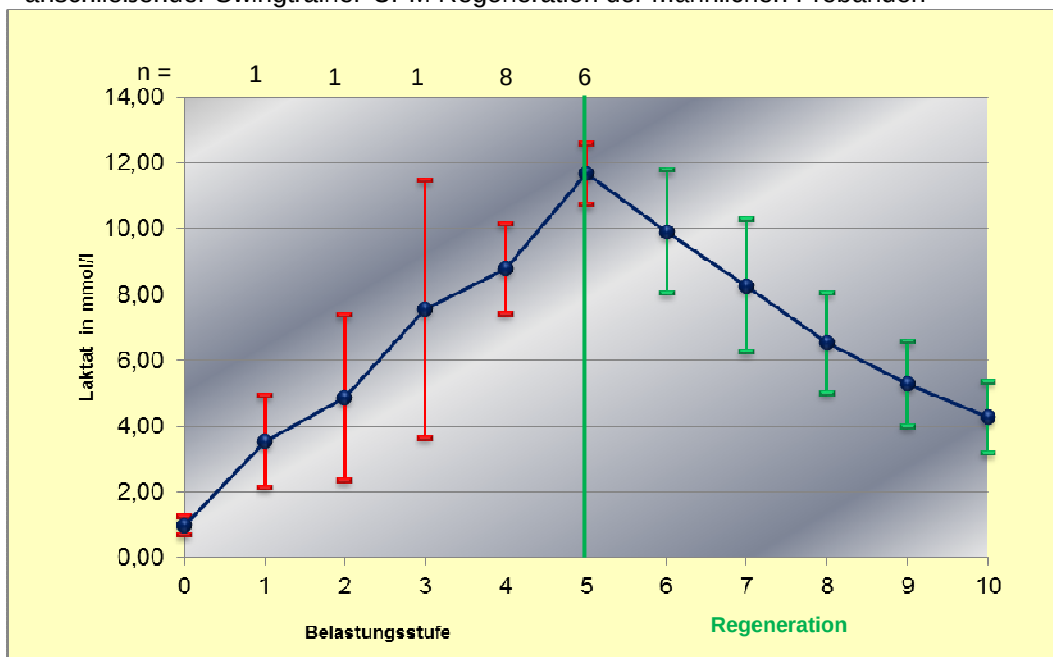


Abbildung 7: Laktatverhalten (Blut) nach Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und anschließender passiver Regeneration der weiblichen Probandinnen

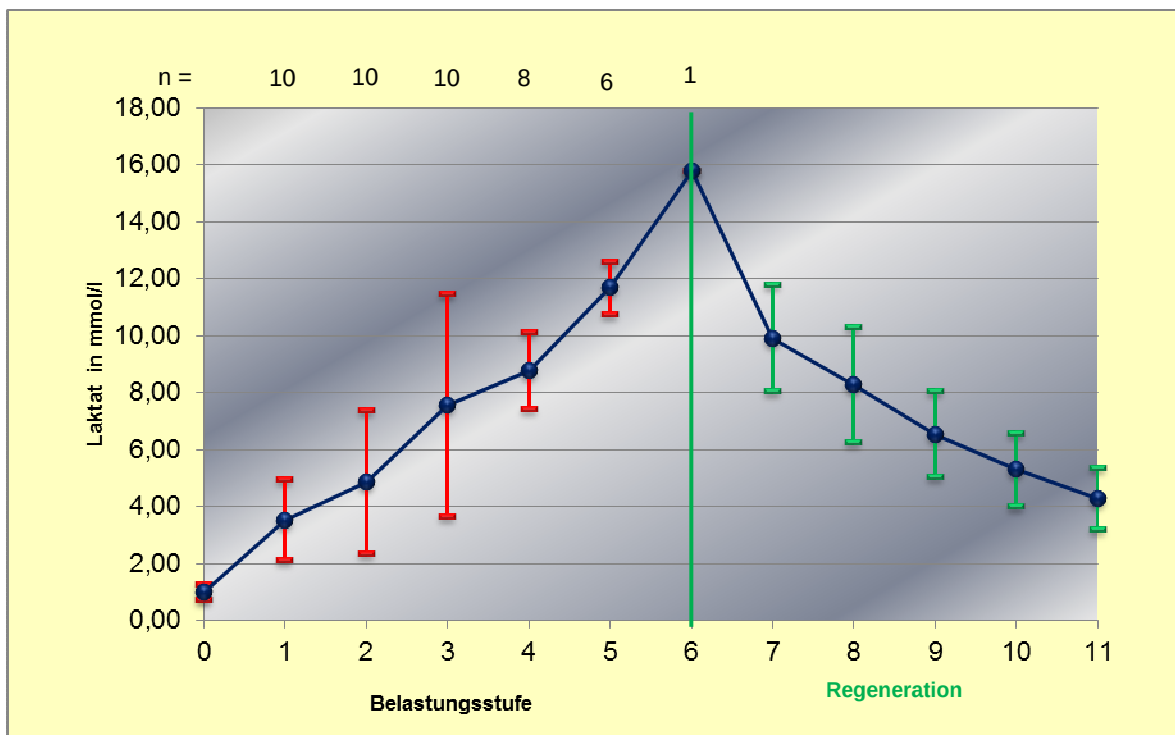


Abbildung 8: Laktatverhalten (Blut) nach Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und anschließender Swingtrainer-CPM Regeneration der weiblichen Probandinnen

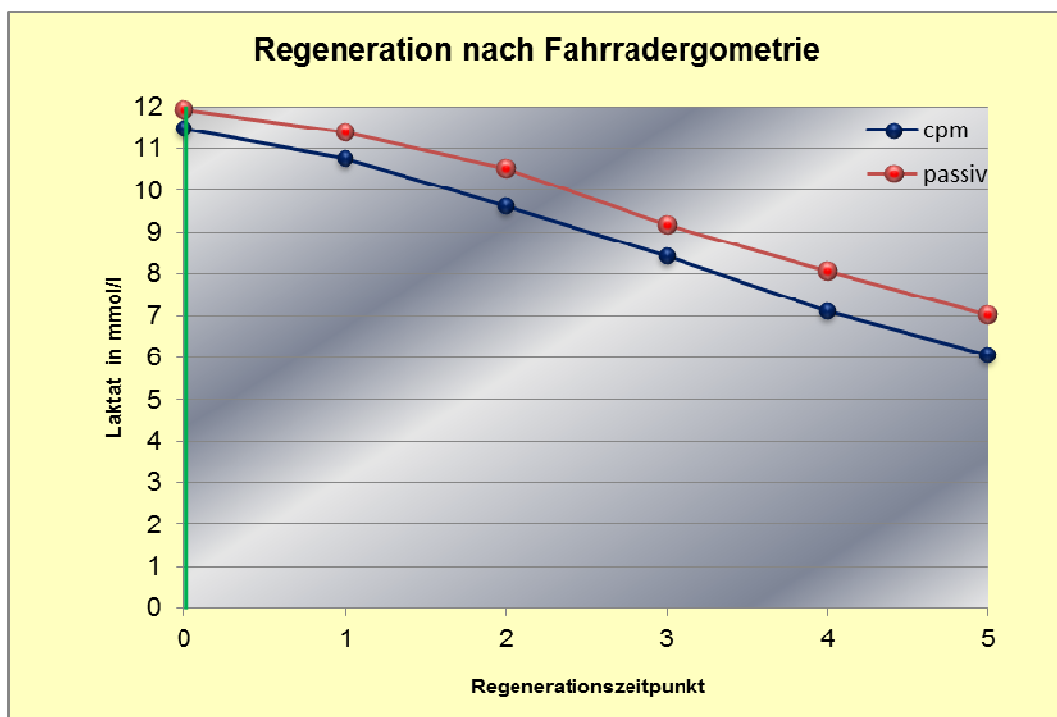


Abbildung 9: Laktatverhalten (Blut) bei passiver sowie Swingtrainer-CPM Regeneration nach einer maximalen Fahrradergometriebelastung der männlichen Probanden

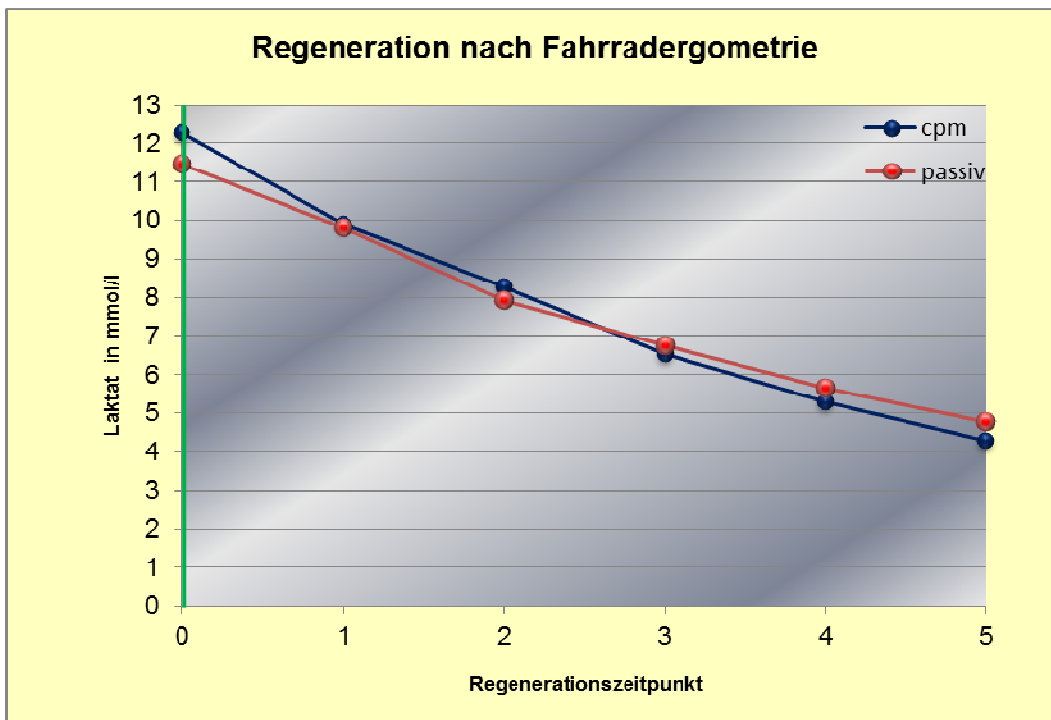


Abbildung 10: Laktatverhalten (Blut) bei passiver sowie Swingtrainer-CPM Regeneration nach einer maximalen Fahrradergometriebelastung der weiblichen Probandinnen

Krafttraining:

Die Laktatwerte der männlichen und weiblichen Probanden nach 3 x 3 Sätzen Bankdrücken, Latzug und Beinpresse fielen höchst unterschiedlich aus. Die Männer wiesen mit durchschnittlich $7,70 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 2,22$ über 40% höhere Werte auf als die Frauen mit $4,52 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 2,02$ und das, obwohl Frauen bei anaeroben Belastungen, wie sie im Krafttraining vorliegen, annähernd die gleichen maximalen Laktatwerte wie die Männer erreichen können (vgl. de Marées, 2002, S. 523). Von diesen Werten ausgehend, lassen sich für die Regenerationsgestaltung tendenziell signifikante bis sehr signifikante Einflüsse einer verbesserten Laktatelimination durch Swingtrainer-CPM aufzeigen (s.a. Abb. 11-16). Der Zeitraum zwischen Belastungsende und 5 Minuten Regeneration zeigt mit $p < 0,01$ gleich den deutlichsten Unterschied zu Gunsten der Swingtrainer-CPM im gesamten weiteren Verlauf. Die Differenz in der Laktatkonzentration beträgt bei Männern $1,94 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 1,29$ zu $0,92 \text{ mmol/l} \pm 0,54$ und bei den Frauen $1,45 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 0,57$ zu $1,19 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 0,53$. Für alle folgenden 5-Minuten-Intervalle lässt sich weder für die Frauen noch für die Männer ein signifikanter Einfluss der Regenerationsgestaltung hinsichtlich einer verbesserten Laktatelimination aufzeigen. Das Geschlecht wirkt sich hier analog zu den Daten der Regeneration nach Swingtrainerergometrie, aufgrund der diesmal wesentlich niedrigeren Laktatwerte der Frauen, durchweg signifikant bis hochsignifikant aus.

Für den Bereich von Belastungsende bis 10 Minuten Regeneration kann mit $p < 0,05$ ein weiterhin signifikanter Unterschied konstatiert werden (Männer: $2,90 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 0,74$ zu $2,28 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 0,92$. Frauen: $2,12 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 1,02$ zu $1,70 \text{ mmol/l} \pm 0,73$). Der Zeitraum bis 15 Minuten nach Belastungsende zeigt ebenfalls noch einen tendenziell signifikanten Einfluss ($p < 0,1$) der Swingtrainer-CPM auf die Reduktion des Laktats. Für die männlichen Probanden wurden Werte von $3,74 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 0,57$ zu $3,13 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 0,86$ und für die Frauen $2,52 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 1,37$ zu $2,19 \text{ mmol/l} \pm \text{SD } 1,05$ gemessen. Ab der 20. Minute nach Belastungsende lässt sich kein signifikanter Unterschied mehr feststellen. Baldari et al. (2005) konnten bei Triathleten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Laktatreduktion nach der 20. Minute belegen. Die Swingtrainer-CPM würde sich demnach möglicherweise zur schnellen Laktatelimination nach einem Krafttrainingssatz eignen. Je höher die Laktatwerte ausfallen, desto stärker erschiene der Einfluss der Swingtrainer-CPM direkt nach Belastungsende. Dies geht sowohl aus den Daten der Männer beim Krafttraining als auch aus jenen der Frauen bei der Fahrradergometrie hervor.

Corder et al. (2000) untersuchten die Effekte von aktiver und passiver Regeneration an 15 männlichen Kraftsportlern hinsichtlich der Laktatelimination, Ermüdung und Leistung in nachfolgenden Sätzen. Die Probanden absolvierten sechs intermittierende Kniebeugesätze mit 85% des individuellen 10RM, mit einer Satzpause von 4 Minuten. Die Pausengestaltung war entweder passiv (sitzend) oder aktiv (Fahrradergometrie bei 25% / 50% der individuellen anaeroben Schwelle). Die nachfolgende Leistung wurde anhand der maximal möglichen Kniebeugenwiederholungen mit 65% des 10 RM ermittelt. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl die Laktatelimination als auch die Leistung in den nachfolgenden Sätzen nach einer aktiven Regeneration mit niedriger Intensität gegenüber den anderen Methoden signifikant besser ausfielen. Baldari et al. (2005) empfehlen dazu eine Intensität von 30 – 70% der VO_2max . Hannie et al. (1995) propagieren für die aktive Regeneration während eines Krafttrainings eine Intensität von 45% der VO_2max . Zwar konnte in ihrer Studie an 15 untrainierten Männern und Frauen keine signifikant bessere Laktatelimination nach aktiver Regeneration nachgewiesen werden, jedoch war die Anzahl der maximal möglichen Wiederholungen in einer intermittierenden Belastungsgestaltung im Bankdrücken mit 65% des 1RM signifikant höher gegenüber der passiven Regeneration. Wigernaes et al. (2000) untersuchten in diesem Zusammenhang an 14 ausdauertrainierten Sportlern die Effekte diverser Regenerationsmaßnahmen (passiv oder aktiv bei 50% der VO_2max) auf die Anzahl weißer Blutkörperchen und Muskelenzymaktivitäten nach anstrengenden, submaximalen Steady-state-Belastungen

auf dem Laufband. Die Ergebnisse zeigten, dass die Anzahl der weißen Blutkörperchen nach passiver Regeneration um 35% sank, gegenüber nur 6% nach aktiver Regeneration. Sairyo et al. (2003) konnten an 7 gesunden Männern, welche einem intensiven Training der Unterarmflexoren unterzogen wurden, nachweisen, dass nach einer leichten aktiven Regeneration derselbigen der pH-Wert signifikant schneller wieder anstieg. Während alle zuvor dargestellten Effekte dem Sport mehr oder weniger zum Vorteil gereichen, bringen einige Auswirkungen der aktiven Regeneration, abhängig vom durchgeführten Training, auch Nachteile mit sich. So weisen Studien von Bogdanis et al. (1996) und Choi et al. (1994) auf eine Verminderung des Muskelglykogengehalts nach aktiver Regeneration infolge kurzer, hochintensiver Belastungen. Für den Freizeit- aber auch den Ausdauersport überwiegen wahrscheinlich dennoch die Vorteile der aktiven Regeneration. Negative Auswirkungen könnte dieser Effekt aber für Sportarten implizieren, welche ihr Hauptaugenmerk auf die Muskelmassenzunahme richten. So beobachteten Wigernæs et al. (2001) eine kontinuierliche Insulinsuppression während aktiver Regeneration.

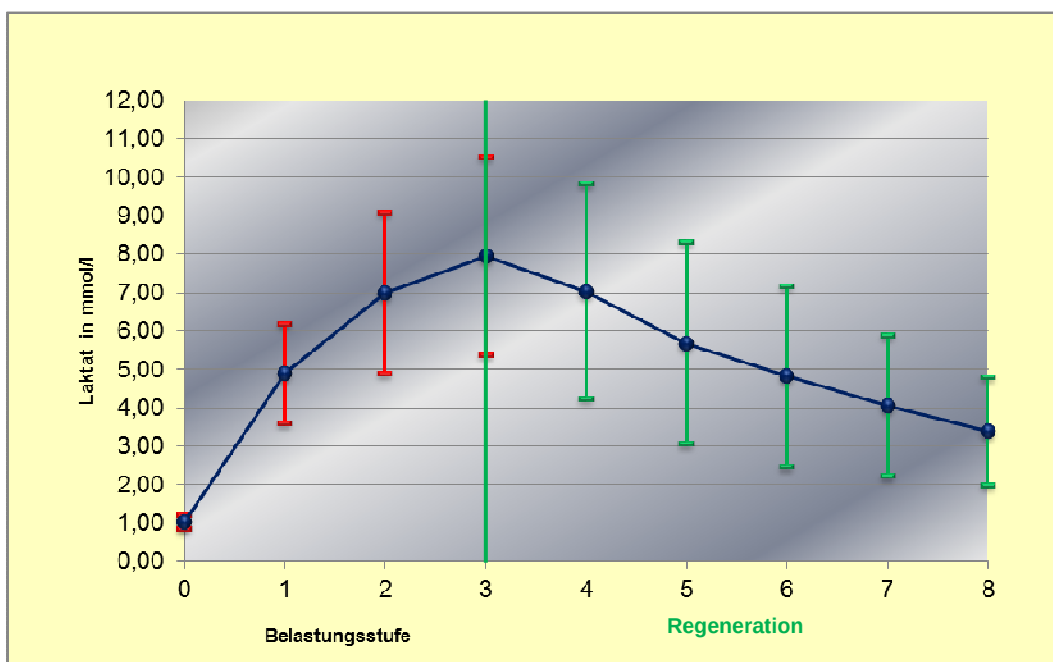


Abbildung 11: Laktatverhalten (Blut) nach einem Krafttraining und anschließender passiver Regeneration der männlichen Probanden

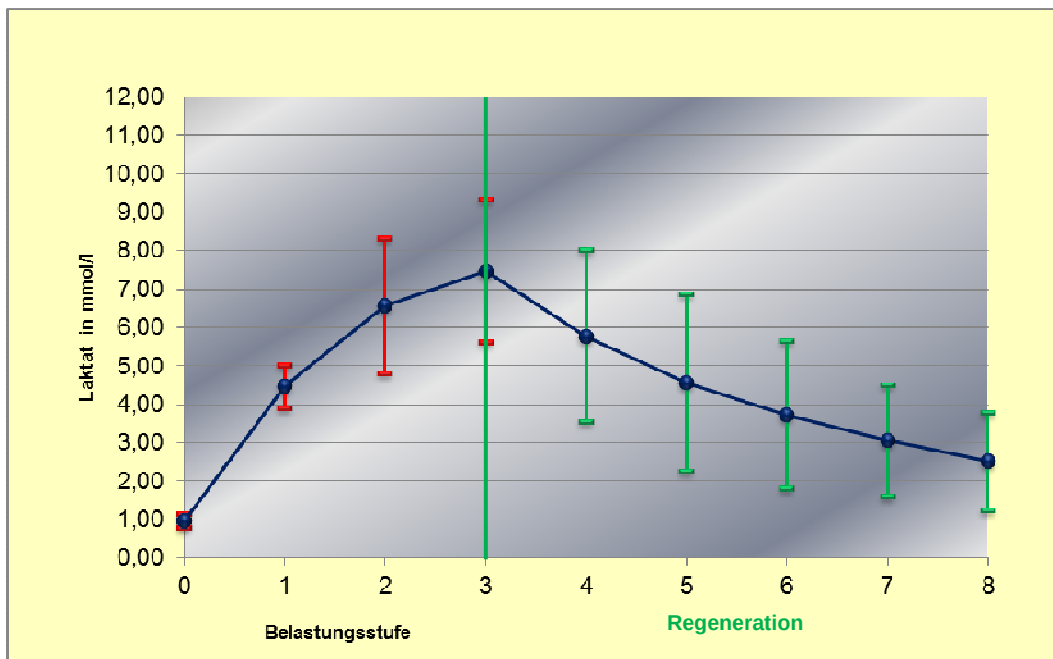


Abbildung 12: Laktatverhalten (Blut) nach einem Krafttraining und anschließender Swingtrainer-CPM Regeneration der männlichen Probanden

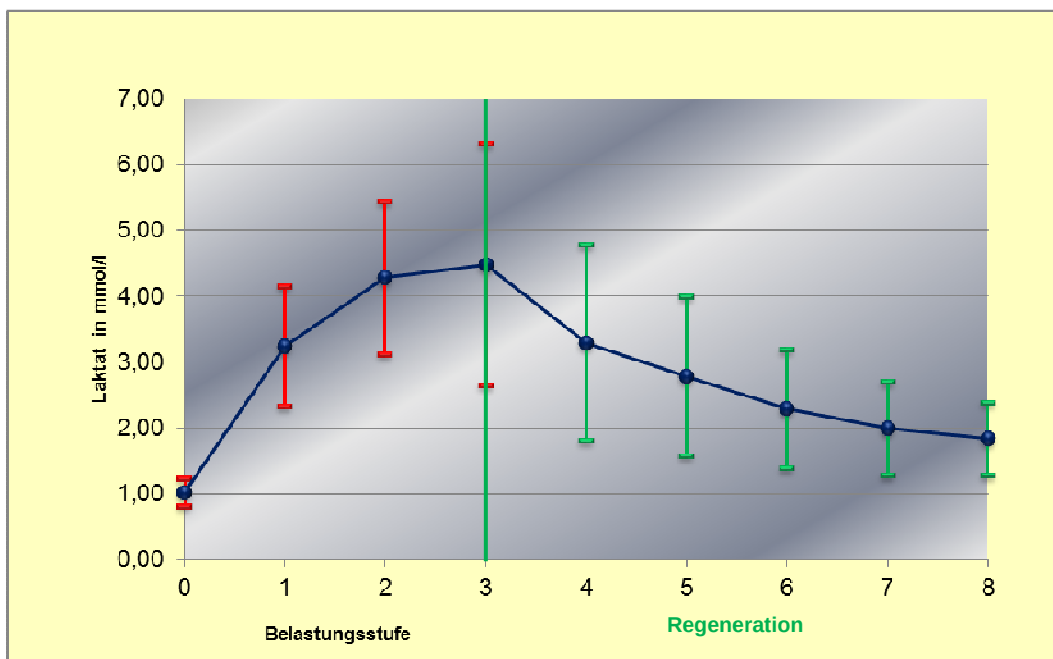


Abbildung 13: Laktatverhalten (Blut) nach einem Krafttraining und anschließender passiver Regeneration der weiblichen Probandinnen

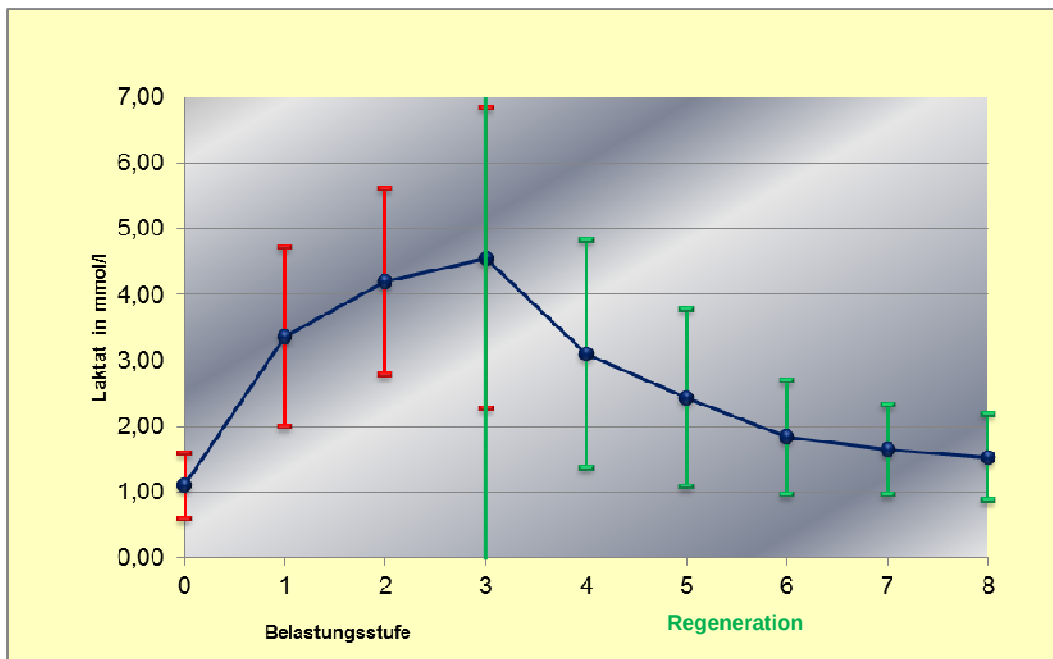


Abbildung 14: Laktatverhalten (Blut) nach einem Krafttraining und anschließender Swingtrainer-CPM Regeneration der weiblichen Probandinnen

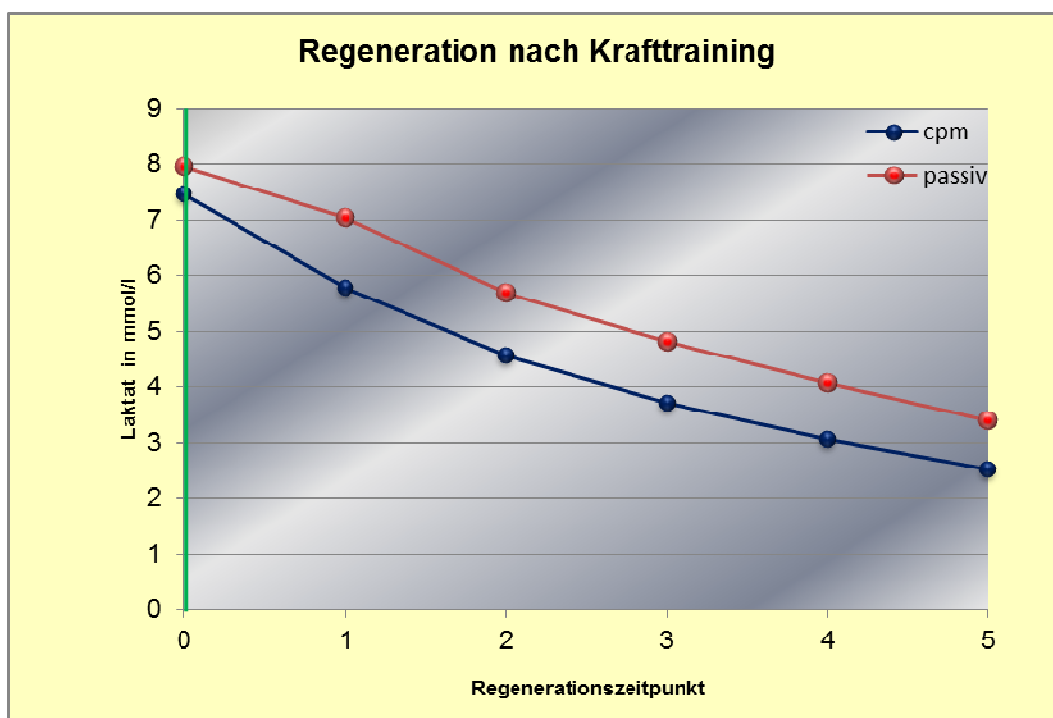


Abbildung 15: Laktatverhalten (Blut) bei passiver sowie Swingtrainer-CPM Regeneration nach einem Krafttraining der männlichen Probanden

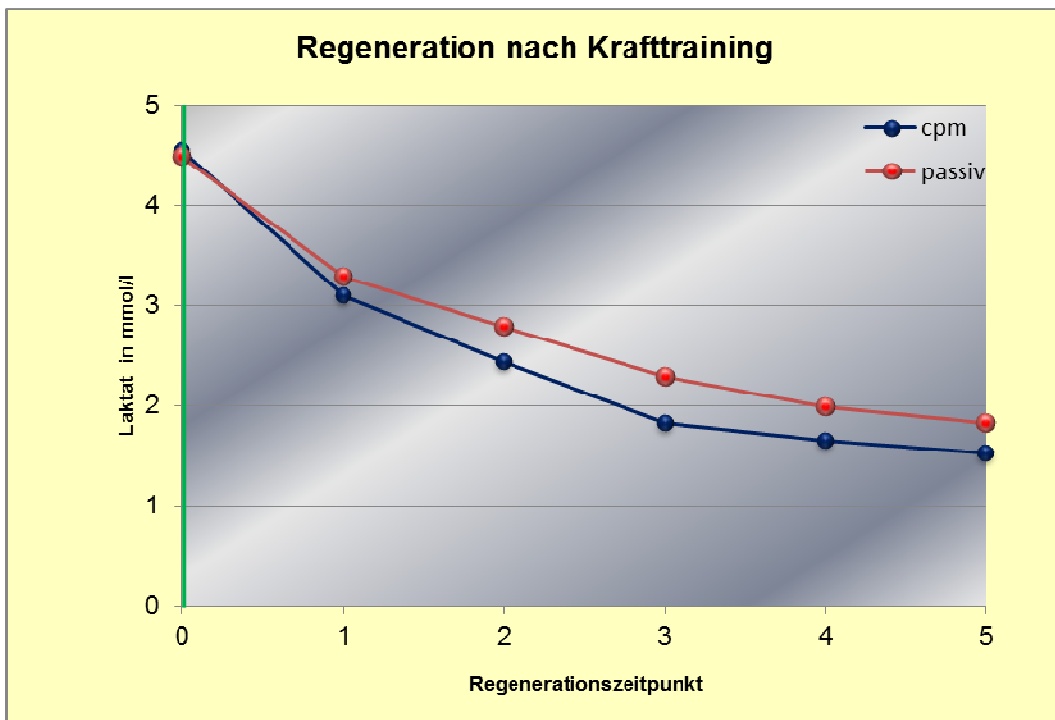


Abbildung 16: Laktatverhalten (Blut) bei passiver sowie Swingtrainer-CPM Regeneration nach einem Krafttraining der weiblichen Probandinnen

Insgesamt lässt sich aus allen dargestellten Studien schlussfolgern, dass aktive Regenerationsmaßnahmen nach Belastungen für das Erreichen maximaler Ergebnisse, mindestens 5 (vgl. Belcastro & Bonen, 1975), aber nicht länger als 20 Minuten andauern sollten. Choi et al. (1994) wiesen darauf hin, dass sich eine aktive gegenüber einer passiven Regeneration, aufgrund einer erhöhten Glykogendepletion und zusätzlich verbrannten Kalorien, ab diesem Zeitpunkt kontraproduktiv verhält.

Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchung war ein Vergleich unterschiedlicher Regenerationsformen hinsichtlich Laktatelimination und Herzfrequenzverhalten mittels passiver- und Swingtrainer-CPM-Regeneration im Anschluss an eine ausbelastende Swingtrainer- und Fahrradergometrie sowie an ein Hypertrophietraining.

Insgesamt partizipierten 12 männliche und 10 weibliche Freizeitsportler/innen an dieser Studie. Die Probanden absolvierten nach Randomisierung im Cross-Over-Verfahren 2 Durchgänge pro Ausbelastungsmethode mit anschließender passiver- bzw. Swingtrainer-CPM-Regeneration. Zwischen den einzelnen Untersuchungen lag ein Zeitraum von mindestens 5 bis maximal 9 Tagen. Nach den verschiedenen (Aus)Belastungsmethoden konnten durchaus unterschiedliche Regenerationsverläufe zwischen passiver Erholung und Swingtrainer-CPM festgestellt werden. Die nach dem fahrradergometrischen

Stufentest erreichten Laktatwerte demonstrierten eine durchgängig bessere Elimination infolge der Swingtrainer-CPM. Während die Laktatdifferenzen nach den ersten 5 Minuten bereits deutliche Mittelwertunterschiede zu Gunsten der Swingtrainer-CPM aufwiesen, konnte für die Zeiträume zwischen Belastungsende und 10 respektive 15 Minuten ein tendenziell signifikanter Einfluss ($p < 0,1$) geltend gemacht werden. Die Zeiträume zwischen Belastungsende und 20 respektive 25 Minuten zeigten hinsichtlich der Laktatelimination sogar signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Das Geschlecht erwies sich in der Regenerationsphase als hochsignifikanter Faktor ($p < 0,001$), was lediglich mit einer erhöhten Nachbelastungslaktatkonzentration der männlichen Probanden erklärt werden konnte, da die Literatur keine Anhaltspunkte für eine geschlechtsspezifische schnellere Regeneration liefert.

Nach Beendigung des Hypertrophietrainings ergab sich im Regenerationsverlauf der ersten 5 Minuten ein sehr signifikanter Einfluss der Swingtrainer-CPM ($p < 0,01$) auf die Laktatelimination. Auch für die Zeiträume von Belastungsende bis 10 respektive 15 Minuten Regeneration konnten signifikante bis tendenziell signifikante Einflüsse aufgezeigt werden. Ab der 15. Minute konnte dann für keine Methode mehr ein wesentlicher Unterschied ermittelt werden. Das Geschlecht bildete erneut einen hochsignifikanten Faktor, jedoch diesmal aufgrund der deutlich höheren Laktatwerte der männlichen Probanden nach Belastungsende. Die Swingtrainerergometrie erwies sich im Zusammenhang mit den limitierten Möglichkeiten und dem angesetzten Belastungsschema als nicht intensiv genug, um die für einen aussagekräftigen Regenerationsverlauf notwendigen hohen Laktatkonzentrationen (im Besonderen für die männlichen Probanden) zu erzielen.

Die Herzfrequenz erwies sich für alle Untersuchungen aufgrund ihrer interindividuellen Variabilität und der Abhängigkeit vom Belastungsschema als zu labiler Parameter während einer Regenerationsuntersuchung nach vorheriger (sub)maximaler Belastung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Swingtrainer-CPM-Regeneration gegenüber einer passiven Erholung, vor allem nach maximalen Ausbelastungen mit hohen Laktatkonzentrationen, eine geeignete Methode zur schnellen Wiederherstellung des metabolischen Gleichgewichts darstellt.

Literaturverzeichnis

- Ahmadi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H. & Prefaut, C. (1996). Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 28 (4), 450-456.
- Baker, S.J. & King, N. (1991). Die Geschwindigkeit des Abbaus von Laktat bei unterschiedlicher Pausengestaltung nach Arbeit auf dem Kanuergometer. *Leistungssport* 6, 35-36.
- Baldari, C., Videira, M., Madeira, F. Sergio, J. & Guidetti, L. (2005). Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 45 (4), 460-466.
- Belcastro, A.N. & Bonen, A. (1975). Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. *Journal of Applied Physiology* 39 (3), 932-936.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Lakomy, H.K.A., Graham, C.M. & Louis, G. (1996). Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 74 (5), 461-469.
- Bond, V., Adams, R.G., Tearney, R.J., Gresham, K. & Ruff, W. (1991). Effects of active and passive recovery on lactate removal and subsequent isokinetic muscle function. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 31 (3), 357-361.
- Bonen, A. & Belcastro, A.N. (1976). Comparison of self selected recovery methods on lactic acid removal rates. *Medicine and Science in Sports* 8 (3), 176-178.
- Choi, D., Cole, K.J., Goodpaster, B.H., Fink, W.J. & Costill, D.L. (1994). Effect of passive and active recovery on the resynthesis of muscle glycogen. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26 (8), 992-996.
- Corder, K.P., Potteiger, J.A., Nau, K.L., Figoni, S.E. & Hershberger, S.L. (2000). Effects of active and passive recovery conditions on blood lactate, rating of perceived exertion, and performance during resistance exercise. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 14 (2), 151-156.
- de Marées, Horst (2002). *Sportphysiologie* (9., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl.). Köln: Sport und Buch Strauss.
- Denadai, S. & Guglielmo, G.A. (2000). Effect of exercise mode on the blood lactate removal during recovery of high-intensity exercise. *Biology of Sport*, 17 (1), 37-45.

- Greenwood, J.D., Moses, G.E., Bernardino, F.M., Gaesser, G.A. & Weltman, A. (2008). Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance. *Journal of Sports Sciences* 26 (1), 29-34.
- Gupta, S., Goswami, A., Sadhukhan, A.K. & Mathur, D.N. (1996). Comparative study of lactate removal in short term massage of extremities, active recovery and a passive recovery period after supramaximal exercise sessions. *International Journal of Sports Medicine* 17 (2), 106-110.
- Hannie, P.Q., Hunter, G.R., Kekes-Szabo, T., Nicholson, C. & Harrison, P.C. (1995). The effects of recovery on force production, blood lactate, and work performed during bench press exercise. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 9 (1), 8-12.
- Mader, A., Heck, H., Föhrenbach, R. & Hollmann, W. (1979). Das statische und dynamische Verhalten des Laktats und des Säure-Basen-Status im Bereich niedriger bis maximaler Azidosen bei 400- und 800-m-Läufern bei beiden Geschlechtern nach Belastungsabbruch. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 7, 203-211.
- McMaster, W.C., Stoddard, T. & Duncan, W. (1989). Enhancement of blood lactate clearance following maximal swimming. Effect of velocity of recovery swimming. *The American Journal of Physiology* 17 (4), 472-477.
- Monedero, J. & Donne, B. (2000). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *International Journal of Sports Medicine* 21 (8), 593-597.
- Raschka, C. (2011): Ausdauersport zu Hause – mit dem richtigen Ergometer – Heimtrainer: rudern, steppen, radeln oder swingen. *Naturarzt* 129 (9), 26-33.
- Rost, R. & Hollmann, W. (1982). *Belastungsuntersuchungen in der Praxis*. Stuttgart: Thieme.
- Sairyo, K., Iwanaga, K., Yoshida, N., Mishiro, T., Terai, T., Sasa, T. & Ikata, T. (2003). Effects of active recovery under a decreasing work load following intense muscular exercise on intramuscular energy metabolism. *International Journal of Sports Medicine* 24 (3), 179-182.
- Signorile, J.F., Ingalls, Ch., & Tremblay, L.M. (1993). The effects of active and passive recovery on short-term, high intensity power output. *Canadian Journal of Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 18 (1), 31-42.
- Taoutaou, Z., Granier, P., Mercier, B., Mercier, J., Ahmaidi, S. & Prefaut, C. (1996). Lactate kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes. *European Journal of Applied Physiology* 73 (5), 465-470.

- Thiriet, P., Gozal, D., Wouassi, D., Oumarou, T., Gelas, H. & Lacour, J.R. (1993). The effect of various recovery modalities on subsequent performance, in consecutive supramaximal exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 33 (2), 118-129.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N. & Dawson, B. (2008). Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat. *Journal of Sports Sciences* 26 (5), 431-440.
- Weineck, J. (2004). *Optimales Fußballtraining* (4., überarbeitete Auflage). Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Wigernaes, I., Høstmark, A.T., Kierulf, P. & Strømme S.B. (2000). Active recovery reduces the decrease in circulating white blood cells after exercise. *International Journal of Sports Medicine* 21 (8), 608-612.
- Wigernaes, I., Høstmark, A.T., Strømme S.B., Kierulf, P. & Birkeland, K. (2001). Active recovery and post-exercise white blood cell count, free fatty acids, and hormones in endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology* 84 (4), 358-366.