



AKTIVE ERHOLUNG IM SPORT

Eine systematische Literaturübersicht

ANNEMARIE GROSSENBACHER

Étudiant HES – Filière Physiothérapeutes

Directeur de mémoire : NICOLAS MATHIEU

**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES 2008 EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLÔME DE PHYSIOTHERAPEUTE
HES**

HES-SO Valais Wallis

Filière Physiothérapeutes

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	1
Abstract.....	2
1. Einleitung	3
1.1 Relevanz	3
1.2 Forschungsfrage	4
2. Theoretischer Rahmen.....	5
2.1 Energiebereitstellung	5
2.1.1 Anaerob-alkalotazide Energiebereitstellung.....	5
2.1.2 Anaerob-laktatide Energiebereitstellung und Laktatproduktion.....	6
2.1.3 Aerobe Energiebereitstellung	8
2.1.4 Laktateliminierung und Trainingszustand	8
2.2 Erholung/Regeneration.....	9
2.2.1 Aktive Regeneration	9
2.2.2 Passive Regeneration.....	10
2.3 Ausdauer.....	10
2.4 Maximale Sauerstoffaufnahme (VO ₂ max)	11
2.4.1 Sauerstoffaufnahme	11
2.4.2 Sauerstofftransport	11
2.4.3 Sauerstoffverbrauch.....	11
2.4.4 Intensitätsangabe mit VO ₂ max	12
2.5 Intervalltraining	13
3. Hypothese und Ziel.....	15
4. Methode.....	15
4.1 Design.....	15
4.2 Einschluss-/Ausschlusskriterien der Studien.....	15
4.2.1 Einschlusskriterien der Studien:	15
4.2.2 Ausschlusskriterien der Studien	16
4.3 Outcome	16
4.4 Suchstrategie.....	16
4.5. Flowchart.....	18
4.6 Datenerfassung	18
4.7 Bewertung der Studien	19
4.8 Zusammenfassung der Studien.....	20
4.9 Analyse.....	23
4. 10 Analyse der einzelnen Studien	25
4.10.1 Niedrige Intensität (20-45% VO ₂ max)	25
4.10.2 Hohe Intensität (>50% VO ₂ max)	28
4.10.3 Andere Studien	30
5. Resultate	31
5.1 Vergleich zwischen den Studien.....	31
5.1.1 Population/Sportart.....	31
5.2 Einfluss auf den Laktatwert.....	31
5.2.1 Niedrige Intensität	31
5.2.2 Hohe Intensität.....	32
5.3 Einfluss auf die Leistung	33
5.3.1 Niedrige Intensität	33
5.3.2 Hohe Intensität.....	33
5.4 Andere Studien	33
6. Diskussion	35

6.1 Stärken/Schwächen meiner Studie	37
7. Schlussfolgerung	38
8. Lexikon.....	39
9. Bibliographie	40
9.1 Referenzen der Studien.....	40
9.1.1 Eingeschlossene Studien.....	40
9.1.2 Referenz eingeschlossene, aber nicht erhaltene Studien	41
9.1.3 Ausgeschlossene Studien.....	41
9.2 Sonstige Referenzen	42
9.2.1 Studien und Bücher	42
9.2.2 Internet.....	42
9.3 Tabellenverzeichnis Seite	44
9.4 Abbildungsverzeichnis	44
10. Anhang	45

Danksagungen

Eine Abschlussarbeit ist immer mit vielen Höhepunkten, aber ebensovielen Tiefpunkten und Stresssituationen verbunden. Deshalb möchte ich mich bei allen bedanken, die mich in dieser Zeit unterstützt haben. Speziell möchte ich folgende Personen erwähnen:

Hannes, Evi, Katrin und Stefan Grossenbacher, für die grosse Unterstützung und Hilfe

Nicolas Mathieu, für die Betreuung dieser Abschlussarbeit

Jona Schweizer, für die Hilfe bei Gestaltung und Formatierung

Abstract

Hintergrund: Eine effiziente Erholung nach einer intensiven Belastung kann zu einer Steigerung der Trainingsintensität und zu Verminderung von Verletzungen oder Übertrainingssyndromen führen.

Ziel: Die Studie will bei erwachsenen Sportler die Erholung mit einer aktiven Massnahme von höherer Intensität(>50% VO₂max) mit einer solchen bei niedrigerer Intensität(<50%VO₂max) in Bezug auf die Laktatsenkung und der Leistung vergleichen.

Studiendesign: Systematic Review

Methoden: Die Studien wurden in den Datenbanken von Pubmed, Cochrane und PeDro gesucht, auf Ein-und Ausschlusskriterien überprüft und mit der Down&Black-Scale bewertet. Die Analyse von 16 Interventionsstudien wurde anhand ihrer primären(Intensität der aktiven Erholung) und sekundären(Laktatsenkung und Leistung) Outcomes durchgeführt.

Resultate: Die Laktatsenkung ist mit der aktiven Regeneration in den meisten Fällen besser, unabhängig von der Intensität. Auch bei der Leistung war nicht die Intensität der ausschlaggebende Faktor. Je nach Pausenlänge wurden unterschiedliche Effekte beobachtet, so sind nach kurzen Pausen bessere Leistungen mit passiver Erholung erzielt worden, bei Pausenlängen von einigen Minuten hingegen waren aktive Regenerationen von Vorteil.

Diskussion: Da jedoch die Unterschiede zwischen den Studien bezüglich Sportart, Methoden und Testprotokollen gross war, sind diese Resultate mehr richtungsweisend und weitere Recherchen nötig.

1. Einleitung

Durch den Wald rennen, im Garten über selbst gebastelte Hindernisse hüpfen, Tannzapfen werfen... Schon als Kind habe ich mich gerne bewegt. Die Faszination an der Bewegung ist geblieben, auch wenn ich jetzt über die Tartanbahn renne, über Hürden laufe und Speere werfe.

Da ich mich nicht für eine Disziplin entscheiden konnte oder wollte, begann ich für den Mehrkampf zu trainieren. Bei den Frauen besteht er aus sieben Disziplinen, die an einem Wettkampf jeweils über zwei Tage verteilt sind. Deshalb ist hier neben Technik und Grundvoraussetzungen wie Kraft und Schnelligkeit auch wichtig, dass der Körper sich möglichst schnell und effizient erholen kann. Ich hatte in diesen Jahren verschiedene Trainer, habe viel mit anderen Athleten diskutiert und habe ca. 30 verschiedene Erholungsmethoden empfohlen bekommen. Dazu kommt, dass ich, seit ich meine Ausbildung zur Physiotherapeutin begonnen habe, in den Trainings auch öfters um Rat gefragt werde. Deshalb kam ich bei der Themenwahl für die Diplomarbeit auch schnell auf die Idee, zwei verschiedene Regenerationsmethoden miteinander zu vergleichen.

In meinem Protokoll war vorgesehen die aktive Erholung mit dem Kaltwasserbad nach einer anaerob-laktaziden Belastung auf ihre Effizienz im Bezug auf die Laktatsenkung zu testen. Ich habe bei verschiedenen Clubs angefragt, ob sie bereit wären mit einigen Athleten an diesen Tests mitzumachen. Aus verschiedenen Gründen hatte ich bis Ende August nur die Zusage von ca. 2-3 Personen, die in Ein-und Ausschlusskriterien gepasst hätten. Zudem hätte ich zwar ein Laktattestgerät zur Verfügung gestellt bekommen, hätte aber die Teststreifen selber bezahlen müssen. Aus diesen Gründen entschloss ich mich, eine Systematic Review zum Thema „Aktive Erholung“ zu machen.

1.1 Relevanz

Immer höher, schneller, weiter ! Das Motto des heutigen Lebensstils gilt nicht nur in der Wirtschaft, der Architektur oder Industrie, sondern auch im Sport. Doch der Mensch ist keine Maschine, die bei Bedarf ausgewechselt werden kann. Deshalb muss er Rücksicht nehmen. Rücksicht auf seinen Körper und dessen Gesundheit. Ein angeschlagener Körper kann keine Topleistung vollbringen und wird in diesem Geschäft beinahe nutzlos. Deshalb ist es wichtig auf eine gewisse Balance zwischen Training und

Erholung zu achten. Hartes Training um die Leistung zu verbessern, Erholung um den Körper vor Verletzungen, Übertrainingssyndrom oder Müdigkeit zu schützen.

Gerade für Spitzensportler, die mit dem Sport ihr Geld verdienen, ist es wichtig, über möglichst lange Zeit Topleistungen erzielen zu können. Je schneller und besser die Erholung, desto mehr Trainingseinheiten können durchgeführt werden und umso effizienter kann trainiert werden. Wichtig ist aber auch die Erholung während einer Trainingssession zwischen zwei Belastungen, wie es zum Beispiel bei einem Intervalltraining der Fall ist.

Aber nicht nur im Spitzensport ist es von Bedeutung zu wissen, wann welche Erholungsmassnahme geeignet ist. Gerade in verschiedenen Bereichen der Physiotherapie (Sport, Kardiologie, Traumatologie/ Orthopädie, Neurologie) werden Geräte wie der Fahrradergometer, das Laufband und Methoden wie das Intervalltraining zum Trainingsaufbau genutzt. Oft ist die Zeit, die man mit einem Patienten zur Verfügung hat, beschränkt und deshalb ist es umso wichtiger in dieser Zeit ein Optimum herauszuholen. Zu diesem Optimum gehören neben der idealen Trainingsintensität, Wiederholungszahl oder Position auch die Pausengestaltung und die abschliessende Erholungsmassnahme. Aktiv oder Passiv? Mit welcher Intensität? Solche und ähnliche Fragen haben sich sicher schon einige Betroffene gestellt und ich möchte mit dieser Arbeit versuchen, den Antworten ein bisschen näher zu kommen.

1.2 Forschungsfrage

Mit welcher Intensität der aktiven Regeneration kann sich ein erwachsener Sportler nach einer intensiven Belastung in Bezug auf die Laktatsenkung und auf die Leistung einer nachfolgenden Belastung am besten erholen?

2. Theoretischer Rahmen

2.1 Energiebereitstellung

Bei körperlicher Aktivität verbraucht der Körper mehr Energie. Je nach Art und Dauer dieser Aktivität ist der Gesamtbedarf an Energie und die Energiemenge pro Sekunde, bzw. Minute unterschiedlich. „Es gibt vier verschiedene chemische Energiequellen, die je nach Bedarf mobilisiert werden können: ATP (Adenosintriphosphat), KP (Kreatinphosphat), Kohlenhydrate und Fette. Die Reserve an ATP in der Muskulatur ist nur sehr begrenzt und wird deshalb während der Muskelkontraktion durch KP, Kohlenhydrate und Fette wieder aufgebaut. Für diese ATP-Resynthese gibt es 3 verschiedene Wege.“ (Van den Berg 2000)

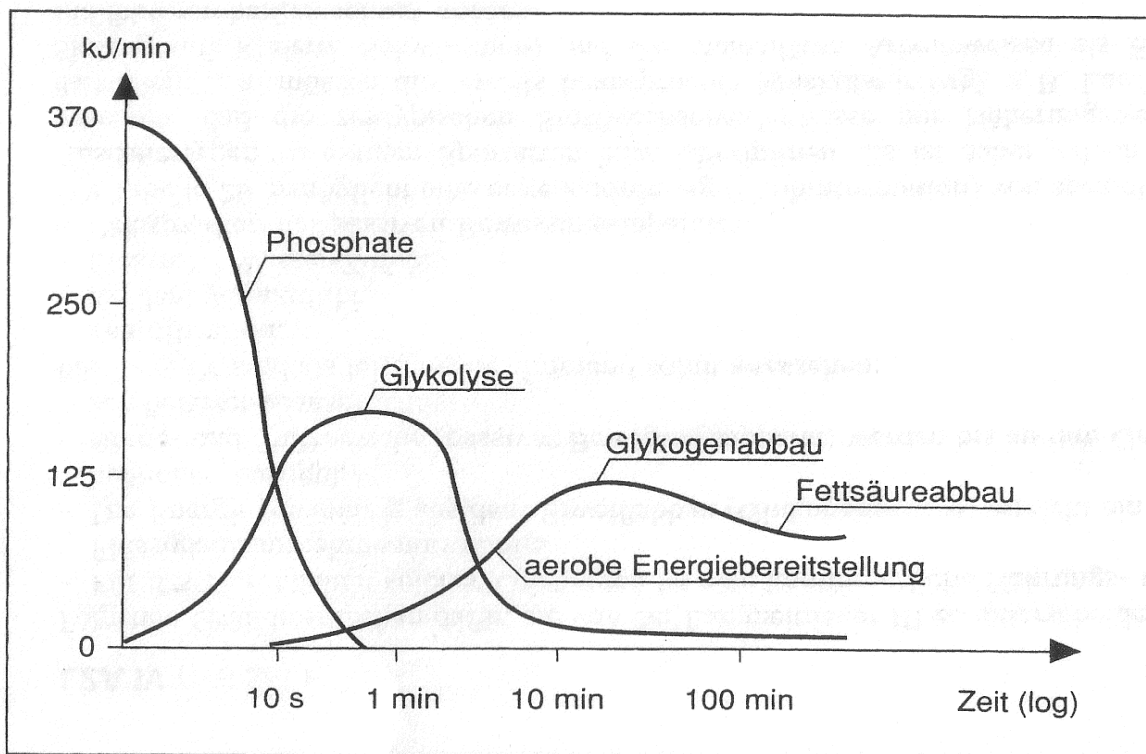


Abb. 1 Energiebereitstellung(nach BADTKe et al.1987) (aus Spring 2005)

2.1.1 Anaerob-alkalaze Energiebereitstellung

Für die sofortige Energielieferung (2-3sec) steht dem Muskel eine geringe Menge an ATP zur Verfügung. Durch die Spaltung von ATP zu ADP+ P entsteht Energie. Als zusätzliches energiereiches Phosphatmolekül ist KP im Muskel gespeichert, kann aber

im Gegensatz zu ATP nicht direkt zur Muskelkontraktion eingesetzt werden. Das Enzym Kreatinphosphokinase vermittelt die Spaltung von KP in Kreatin und eine Phosphatgruppe. Diese Phosphatgruppe wird auf energiearmes Adenosindiphosphat (ADP) übertragen und dabei entsteht wiederum ATP. Diese Prozesse laufen anaerob und ohne Laktatbildung ab und reichen für eine intensive Belastung von 7-10sec. Dauert die Aktivität länger muss der Körper auf andere Energiequellen zurückgreifen. (Van den Berg 2000)

2.1.2 Anaerob-laktazide Energiebereitstellung und Laktatproduktion

Etwas verzögert (nach ca.5sec) beginnt auch die Energiegewinnung aus Glykogen und Glukose. Das im Muskel gespeicherte Glykogen wird über Glukose-6-Phosphat und dem Pyruvat zu Milchsäure und ATP abgebaut. Als zweite Möglichkeit bietet sich dem Körper Glukose über die Blutbahnen aufzunehmen. Diese Form der Energiebereitstellung reicht für 45-90sec.

Laktat wird aber nicht nur in dieser Situation gebildet und eliminiert. Selbst in Ruhe ist im arteriellen Blut eine geringe Menge (ca. 1mmol/l) vorhanden und selbst bei wenig intensiven Aktivitäten steigt der Laktatspiegel an. Maximale Werte werden bei hochintensiven Belastungen über 40-50sec erreicht (ca. 25mmol/l im Blut und 30mmol/l im Muskel). (Van den Berg 2000)

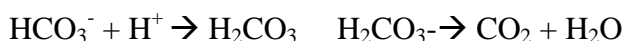
Dabei wird auch der pH-Wert stark gesenkt (6,4 im Muskelgewebe, 6,8 im arteriellen Blut) und hat eine Enzymhemmung zur Folge, die den lokalen glykolytischen Stoffwechsel zum Erliegen bringt. (Weineck 2004)

Die Eliminierung des Laktats erfolgt in der Leber (Glukogenese), der Niere, in der weniger intensiv benutzten Muskulatur, im Herzmuskel und über den Schweiß. Hierbei hängt die Geschwindigkeit der Elimination von der Laktatkonzentration und der Kapazität des aeroben Stoffwechsels ab. In Ruhe und bei leichter Aktivität besteht ein sogenanntes steady state, ein Gleichgewicht zwischen der Produktion und Elimination. Auch bei gesteigerter Intensität kann sich erneut ein Gleichgewicht einstellen, bis ein gewisser Grenzwert erreicht wird und die Laktatproduktion die Eliminierungsrate übersteigt und es eine Laktatakkumulation gibt. Der Grenzwert, wo sich noch ein Gleichgewicht einstellt, wird maximales Laktat-steady-State (max. Lass) genannt und liegt, bei Fahrradergometer oder Laufbandtests, im Mittel bei 4 mmol/l (Schwellenkonzept nach Mader 1976, Einzelwerte können von 2,5-7mmol/l schwanken). (Van den Berg 2000).

Der maxLass ist theoretisch identisch mit der anaeroben Schwelle (Übergang von rein aerober zur teilweise anaerob-laktazider Energiebereitstellung). Ist diese Schwelle erstmal überschritten akkumuliert Laktat weiter und nach kurzer Zeit muss die Belastung abgebrochen werden oder die Intensität vermindert werden. Die aerobe Schwelle liegt bei 2 mmol/l (bis dahin läuft die Energiebereitstellung ausschliesslich aerob ab).

Zu einer zusätzlichen Konzentrationserhöhung des Laktats im Blut kann auch der Umstand führen, dass die Leber durch die Minderdurchblutung während der muskulären Arbeit ihre Klärfunktion nur eingeschränkt nachkommen kann.

Nicht wie oft angenommen das Laktat sondern die bei der Glykolyse von Glukose zusätzlich anfallenden H^+ -Ionen sind für die Senkung des pH-Wertes und verantwortlich und verursachen eine Azidose. Die H^+ -Ionen und die Azidose führen über eine Reduzierung der Enzymaktivität zu Störungen des Energiestoffwechsels, genauer zu einer Hemmung des Glykogenabbaus und somit zu einer raschen Abnahme der verfügbaren ATP-Menge. Normalerweise werden die H^+ -Ionen durch Puffersysteme abgefangen und eliminiert damit der pH-Wert stabil bleibt. Die Pufferkapazität des Muskels ist aber relativ gering und reicht ca. für eine intensive Belastung von 10-15sec. Dabei können die H^+ -Ionen an Laktat gebunden werden und als Milchsäure die Zellwand passieren wo sie wieder in Laktat und H^+ -Ionen zerfallen. Das effektivere Puffersystem der Blutbahn, Bikarbonat/ CO_2 -System fängt die Wasserstoffione nach der Formel:



Die CO_2 -Abgabe erfolgt über die Lunge. Bei maximaler anaerober Belastung genügen die Puffersysteme nicht und es kommt zu einer intramuskulären pH-Wert-Senkung auf bis zu 6,2 (normal: 7,2).

Ausserdem treten die H^+ -Ionen als Konkurrenz zu Kalzium an die Ca_2^+ -Bindungsstellen des Troponins und beeinträchtigen damit die Interaktion der Aktin- und Myosinfilamenten während der Kontraktion. Diese beiden Funktionen der H^+ -Ionen können zumindest teilweise für die Ermüdung bei hoch-intensiven Muskelarbeiten verantwortlich gemacht werden. (Van den Berg 2000)

In den meisten Büchern wird zur schnelleren Eliminierung des Laktates eine leichte Aktivität empfohlen (Weineck 2004, Van den Berg 2000)

2.1.3 Aerobe Energiebereitstellung

„Bei längeren, wenig intensiven Belastungen wird die Energie durch die aerobe Verstoffwechselung von Glukose und Fetten bereitgestellt. Die Umstellung des Herzkreislaufsystems auf Arbeit unterliegt aber einer gewissen Trägheit. Nach 1-2 min kann das System genügend Sauerstoff an die Arbeitsmuskulatur liefern. Dies geschieht durch eine Erhöhung des Herzzeitvolumens und einer Umverteilung des Blutes zur besseren Durchblutung der Muskulatur.“ (Van den Berg 2000)

In den Mitochondrien wird Glukose durch Enzyme der aeroben Energiebereitstellung in ATP, CO₂ und H₂O verbrannt und reicht für Belastungen von 45-90min. Bei sehr langen Dauerbelastungen reicht Glukose allein aber nicht zur Deckung des Energiebedarfs und so wird die Fettsäureverbrennung mit der Zunahme der Belastung eine wichtige Rolle ein und fast von uneingeschränkter Dauer. „Bei der oxidativen Verbrennung gehen alle Stoffe in den Zitratkreislauf, der sich in den Mitochondrien abspielt. Die daraus gewonnenen Wasserstoffäquivalente (H⁺-Ionen) werden über die Enzyme der Atemkette in Anwesenheit von Sauerstoff oxidiert, wobei ATP, Kohlendioxid und Wasser gebildet werden.“ (Weineck 2004)

2.1.4 Laktateliminierung und Trainingszustand

„Bei einem besseren Trainingszustand steigt der Laktatspiegel erst bei höheren absoluten Belastungen bis zur aeroben und anaeroben Schwelle.“ (Van den Berg)

Dies wird durch eine höhere Klärfunktion der Leber und einem ökonomischen Einsatz der primär zur aeroben Energiegewinnung eingesetzten Slow-Twitch- Fasern erreicht.

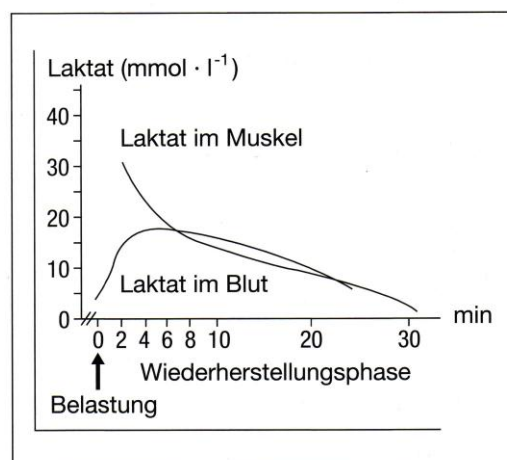


Abb. 2 Laktatelimination (aus Weineck 2004)

Die durch Ausdauertraining gewonnenen Adaptationen in verschiedenen Organen und Systemen (Herz-Kreislaufsystem mit verbessertem Sauerstofftransport, vergrössertes Blutvolumen und grösserer Hämoglobingehalt, Vermehrung des Myoglobins und der Mitochondrien, sowie eine Zunahme aerober Enzyme im Zitronensäurezyklus in den Muskelzellen, u.a.) fördern die Möglichkeit der aeroben Energiegewinnung und verschieben für eine gegebene Belastung die Laktatleistungskurve nach rechts. (Van den Berg 2000)

2.2 Erholung/Regeneration

Definition: Die Wiederherstellung der vollen psychischen und physischen Leistungsfähigkeit nach einer Belastung - das Erreichen der Homöostase.

Dies kann sowohl am Ende einer Trainingseinheit sein, als auch innerhalb des Trainings, zwischen zwei intensiven Belastungen. Das Ziel dabei ist die Effektivität des Trainings zu steigern, die Anzahl der Trainingseinheiten zu erhöhen, das Verletzungsrisiko zu senken und Übertrainingssyndrom zu verhindern.

Zu der Wiederherstellung gehören die Auffüllung des Kreatinphosphatspeichers (Dauer ca. 2-3min), die Normalisierung des pH-Wertes (nach maximaler anaerob-laktazierter Belastung, Dauer ca. 30-35 min), Abbau der Laktatkonzentration (Halbwertszeiten unterschiedlich je nach Menge des gebildeten Laktats), Auffüllung des Glykogenspeichers (bei langen aeroben oder wiederholten anaerob-laktaziden Belastungen, Dauer 48-72 Stunden), Thermoregulation, Normalisierung des neuromuskulären Systems aber auch des zentral- und psychonervalen Systems.

Die Erholungsmassnahmen werden meistens in aktive und passive Massnahmen aufgeteilt, da ihre Effektivität unterschiedlich ist. (Van den Berg 2000,Weineck 2004, Spring 2005)

2.2.1 Aktive Regeneration

Als aktive Regeneration sind leichte, im aeroben Bereich stattfindende Aktivitäten gemeint. Dies können leichtes Jogging, lockeres Radfahren, langsames Schwimmen und ähnliches sein. Die in der Zeit unmittelbar nach der Belastung besonders intensiv ablaufenden Stoffwechselprozesse und die erhöhte Anflutung verschiedener Stoffwechselzwischen- und Endprodukte können durch diese Aktivität besser bewältigt werden. Eine leichte Belastung leitet regenerative Stoffwechselvorgänge ein, zusätzlich

wird durch die Muskelpumpe der Rückfluss des venösen Blutes aus den Extremitäten gefördert und damit der Abtransport der angesammelten Stoffwechselzwischen- und Endprodukte verbessert.

Zudem hat eine aktive Erholung auch positive Auswirkung auf die Umstellung vom sympathischen auf das vagotone (parasympathische) Nervensystems, da die Leistungshormone Adrenalin und Noradrenalin u.a. schneller eliminiert werden. Ihr Abbau erfolgt vorwiegend oxidativ über die Leber. Somit kann sich der Sportler schneller und besser erholen.

2.2.2 Passive Regeneration

Zur passiven Regeneration zählen alle Massnahmen, bei denen der Sportler nicht selber aktiv mithilft. Dazu gehören Massnahmen wie still sitzen oder liegen (wird in den meisten Studien als Erholung für die Kontrollgruppe gemacht), aber auch Massage, wechselwarme Bäder, Kompressionsstrümpfe, Sauna, passives Stretching, usw., sowie der Schlaf. Als Vorteil hat dies, dass keine weiteren Energiespeicher abgebaut werden. In der Literatur werden passive Massnahmen oft als Ergänzung zu aktiven Methoden empfohlen, insbesondere nach besonders intensiven und erschöpfenden Belastungen.

2.3 Ausdauer

Die Ausdauer zählt neben Kraft, Schnelligkeit, Koordination und Flexibilität zu den motorischen Fähigkeiten. Ausdauer bedeutet, eine bestimmte sportliche Belastung möglichst lange mit unverminderter Intensität aufrecht zu erhalten und die Fähigkeit, sich nach einer Belastung möglichst schnell zu erholen (Ermüdungswiderstandsfähigkeit). Das kann sowohl bedeuten, einen Marathon zu laufen, als auch einen 200m-Sprint mit gleich bleibender Schrittlänge und -Schnelligkeit zu beenden.

Die Ausdauer kann in verschiedene Untergruppen aufgeteilt werden.

Lokale /globale(allgemeine) Ausdauer: Bezieht sich auf den Umfang der eingesetzten Muskelmassen. Wird weniger als 1/6-tel der Skelettmuskulatur beansprucht, nennt man dies lokale Ausdauer, da hierbei das kardiovaskuläre System noch keine massgebende Rolle. Bei der allgemeinen Ausdauer ist die Leistungsfähigkeit dieses Systems hingegen ein wesentlicher Faktor.

Aerob/ anaerobe Ausdauer: Hierbei wird unterschieden mit welchem System die Energiebereitstellung stattfindet. Bei der aeroben Ausdauer gewinnt der Muskel die Energie aus der oxidativen Verbrennung von Kohlenhydraten, Fetten und Eiweisse. Bei der anaeroben Ausdauer wird die Energie durch den Abbau von Phosphaten und der anaeroben Glykolyse gewonnen.

Zudem wird die Ausdauer je nach Belastungsart noch in statisch oder dynamisch eingeteilt.

2.4 Maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max)

Die maximale Sauerstoffaufnahme gibt an wie viel Milliliter O₂ der Körper bei Belastung maximal pro Minute verwerten kann und gilt als das Bruttokriterium für eine Ausdauerleistungsfähigkeit, da sie die drei Systeme Sauerstoffaufnahme, -transport und -verbrauch am besten repräsentiert.

Die Formel dafür lautet: $VO_{2\max} = \text{H MV} \times (\text{AV-O}_2\text{-Diff})$

2.4.1 Sauerstoffaufnahme

In der Lunge erfolgen der Übertritt von Sauerstoff (O₂) aus der eingeatmeten Luft ins arterielle Blut und gleichzeitig der Übertritt von Kohlendioxid (CO₂) vom venösen Blut in die Lunge, der sogenannte Gasaustausch. Dabei ist aber nicht entscheidend wie viel Sauerstoff über die Atemwege aufgenommen werden kann, sondern die Kapazität diesen im Blutkreislauf aufzunehmen, das heisst, ein grosses Lungenvolumen ergibt nicht automatisch einen hohen VO₂max.

2.4.2 Sauerstofftransport

Mit Hilfe der roten Blutkörperchen (Erythrozyten) wird der Sauerstoff zu allen Organen und somit auch zu den Muskeln transportiert. Als „Antrieb“ wirkt das Herz. Je mehr Blut aus dem Herz pro Minute durch den Blutkreislauf gepumpt wird umso mehr Sauerstoff kann von den Lungen zu den Muskeln transportiert werden. Diese Fähigkeit wird als Herzminutenvolumen (H MV) bezeichnet.

2.4.3 Sauerstoffverbrauch

In den kleinsten Blutgefässen, den Kapillaren, wird der Sauerstoff von den Muskelzellen aufgenommen (AV-O₂-Diff).

Je höher die VO_{2max} , desto höher kann die Intensität einer Ausdauerbelastung sein, ohne eine "Sauerstoffschuld" eingehen zu müssen, also in den laktaziden, anaeroben Bereich einzudringen. Daraus ergibt sich, je höher die VO_{2max} desto grösser ist die Ausdauerleistungsfähigkeit (aerobe Kapazität). Man kann die Energiegewinnung länger über die Sauerstoffversorgung gewährleisten, bevor man in den anaeroben Stoffwechsel übergeht. (Van den Berg 2000, Spring 2005)

Die VO_{2max} kann als absolut in Milliliter O_2 pro Minute, oder als relativ in Milliliter O_2 pro Kg (Körpermasse) und Minute gemessen und angegeben werden. In Sportarten, in denen das Körpergewicht nicht voll zu tragen ist (Schwimmen, Radfahren,...) ist die absolute VO_{2max} für die Leistungsfähigkeit aussagekräftiger, wenn jedoch das Eigengewicht des Körpers eine Rolle spielt, wie z.B. bei Laufdisziplinen, dann ist die relative VO_{2max} der bessere Wert.

Die VO_{2max} ist von genetischen Faktoren, wie dem Alter, dem Geschlecht und dem Trainingszustand abhängig und kann nur geringfügig durch Training gesteigert werden (bei einem gesunden Erwachsenen maximal um 20%). (Spring 2005)

	Relative VO_{2max}
Untrainierte	
- Frauen (20.-30. Lebensjahr)	32-38 ml/kg/min
- Männer (20.-30. Lebensjahr)	40-55 ml/kg/min
Hochtrainierte Ausdauersportler	
- Frauen	60-70 ml/kg/min
- Männer	80-90 ml/kg/min
Normwerte für Fitneßzustand	
- Frauen	35-38 ml/kg/min
- Männer	45-50 ml/kg/min
Ausdauertrainierte	55-65 ml/kg/min
Ausdauerleister - internationales Niveau	65-80 ml/kg/min
Ausdauerleister - internationales Spitzenniveau	85-90 ml/kg/min

Abb.3 VO_{2max} (ml/kg/min) bei verschiedenen Trainingszuständen (aus Spring 2005)

2.4.4 Intensitätsangabe mit VO_{2max}

Das Sauerstoffminutenvolumen (VO_2) ist eine Möglichkeit, die Intensität einer Arbeit oder einer sportlichen Belastung einzuteilen. Dies wird in Prozent zur maximalen Sauerstoffaufnahme(VO_{2max}) angegeben. In der Literatur werden drei Intensitätsbereiche unterschieden:

Intensitätsbereich 1 (<50% VO₂max)

Bei niedrigen Belastungen (unterhalb der aeroben Schwelle) stehen der Sauerstoffbedarf und das Sauerstoffangebot im Gleichgewicht. (Spring 2005)

Dabei erfolgt die Energiebereitstellung hauptsächlich aus der oxidativen Fettsäureverbrennung, wobei freie Fettsäuren vermehrt aus den Blutbahnen aufgenommen und in den Mitochondrien verstoffwechselt werden. (Van den Berg 2000)

Intensitätsbereich 2 (50-80% VO₂max)

Bei mittleren bis hohen Belastungen wird vor allem Glykogen und Glukose oxidativ in den Mitochondrien zu CO₂ und H₂O verarbeitet. (Van den Berg 2000) Die Laktatproduktion und -verwertung stehen in dieser Phase noch im Gleichgewicht, und führen höchstens zu einer kleinen Erhöhung des Laktatspiegels im Blut. (Spring 2005)

Intensitätsbereich 3 (>80% VO₂max)

Bei hohen Belastungsintensitäten wird die anaerobe Glykolyse aktiviert, wodurch die Laktatwerte im Blut und im Muskel auf Höchstwerte steigen.

Bei Belastungen über 100% VO₂max, sogenannte submaximalen Belastungen, wird die Energiebereitstellung aus der glykolytischen Aufspaltung des Muskelglykogens zu Laktat und der Resynthese des ADP aus Kreatinphosphat gebildet.

Alle Bereiche können fließend ineinander übergehen. (Spring 2005)

2.5 Intervalltraining

Das Intervalltraining ist eine häufig benutzte Methode zur Verbesserung der Ausdauer, vor allem der Sprint- und Schnelligkeitsausdauer. Dies wird durch einen systematischen Wechsel zwischen Belastung und Erholung erreicht. Dabei wechseln sich Phasen mit hoher Belastung mit solchen von niedriger Belastung bzw. keiner Belastung ab. Wichtig ist dabei die Pausengestaltung (Länge, Intensität).

In der Regel wird eine sogenannte lohnende Pause eingelegt. Das heisst, dass sich der Athlet in der Pause nicht vollständig erholt. Das führt zu einer Verbesserung der anaeroben Energiebereitstellung. Dabei werden zwei Formen des Intervalltrainings unterschieden.

Extensive Intervallmethode: geringe Intensität (60-80% der Bestleistung), grösserer Umfang. Das Ziel ist die Vergrösserung des Herzvolumens und sowie die Verbesserung der aeroben Kapazität.

Intensive Methode: hohe Belastungsintensitäten (80-90% der Bestleistung) bei geringeren Umfängen. Hauptziel ist dabei die Verbesserung der anaeroben Kapazität.(Geese und Hillebrecht 2006)

3. Hypothese und Ziel

Aufgrund von dem was ich gelesen und selber erfahren habe, sieht meine Hypothese folgendermassen aus. Bei intensiven Belastungen mit kurzen Pausen ist die aktive Massnahme mit höherer Intensität (im Bereich zwischen 50 -60% VO_2max) -verglichen mit einer niedrigeren Intensität- zwar effizienter auf die Senkung des Blutlaktats, hat aber keinen oder eher negativen Einfluss auf eine nachfolgende Belastung, da sich bei weiterer Belastung die Energiespeicher nicht optimal regenerieren können. Bei längeren Pausen hingegen wirkt sich eine aktive Erholung besser auf eine darauf folgende Belastung aus.

Das Ziel dieser Arbeit ist, die Literatur zu diesem Thema zusammen zu stellen, um herauszufinden, ob es eine optimale Intensität zur Erholung nach intensiven Belastungen gibt.

4. Methode

4.1 Design

Systematic Review ist eine systematische Suche nach Primärliteratur in Datenbanken um eine Übersicht zu einem Thema zu bekommen. In meinem Fall wird dies eine qualitative Systematic Review, das heisst, ich werde die Ergebnisse nicht in einem Statistikprogramm, sondern auf Grund der vielen verschiedenen Methoden der Studien beschreibend auswerten. Eine Systematic Review dient dazu, das bereits vorhandene Wissen zusammenzufassen, neue Hypothesen zu formulieren oder Lücken der Forschung zu finden. Die Bias sind grösser, da vielleicht die Studien nicht repräsentativ und Confounders (Einflussvariablen) schwer kontrollierbar sind.

4.2 Einschluss-/Ausschlusskriterien der Studien

4.2.1 Einschlusskriterien der Studien:

- Laktatmessung oder Einfluss auf eine nachfolgende Leistung als Outcome
- Population : Erwachsene (älter als 18 Jahre), Sportler
- Randomisierte, aber auch nicht-randomisierte Studien, die ab 1988 (20 Jahre) veröffentlicht wurden
- Eine aktive Erholungsmassnahme als Intervention
- Zyklische Sportarten(Laufen, Radfahren, Schwimmen,...)

4.2.2 Ausschlusskriterien der Studien

- Population unter 18 Jahren, unспортlich
- Andere Messungen, wenn diese als Hauptoutcome der Studien gebraucht wurden (pH, Glykogen,...)
- Fallstudien mit einzelnen Probanden
- Studien, die vor 1988 veröffentlicht wurden
- Stretching, Massage und Sauna als passive Massnahme bei Kontrollgruppe
- Azyklische Sportarten (Teamsportarten, Kampfsportarten, Sprung- und Wurfdisziplinen,...)

Ich habe erwachsene Sportler gewählt da Messwerte wie Blutlaktat, $VO_2\text{max}$ anders sind als bei einer untrainierten Population und bei Kinder/ Jugendlichen. (siehe auch Abbildung 3 in Theorie)

4.3 Outcome

Ich möchte die Auswirkung einer niedrigen Intensität (20-45% $VO_2\text{max}$) einer aktiven Regeneration auf die Laktatsenkung und eine nachfolgende Leistung, mit der Auswirkungen einer höheren Intensität (50-60% $VO_2\text{max}$) verglichen.

Hauptoutcome: Intensität der Regenerationsphase ($VO_2\text{max}$)

Nebenoutcome: Laktatwert und Leistung

Nicht alle Studien haben die Intensität mittels des $VO_2\text{max}$ gemessen. Unter ‚Lexikon‘ sind neben einigen Begriffserklärungen auch die Umrechnungen erklärt.

4.4 Suchstrategie

Die Hauptquelle meiner Suche war die Datenbank von Pubmed. Gesucht habe ich auch in Cochrane und PeDro. Zwischen September 2007 und Juni 2008 wurden die Datenbanken regelmässig mit der gleichen Suchstrategie überprüft, um allfällige Neuerscheinungen nicht zu verpassen.

In der Database von PeDro habe ich keine Ergebnisse gefunden, die mit meinen Suchkriterien übereinstimmen. In Cochrane erschienen 24 Abstracts, wenn ich die gleiche Suchstrategie verfolgte. Von den 24 gefundenen Zusammenfassungen konnte ich 9 einschliessen; diese stimmen jedoch bereits mit den Daten von Pubmed überein. Die folgende Tabelle zeigt meine Suchstrategie in Pubmed.

Nr	Stichwörter und Limiten der Suche	Anzahl
#8	Search active recovery AND performance AND lactate Limits: Publication Date from 1988/01/01 to 2008/12/31	72
#7	Search active recovery AND performance Limits: Publication Date from 1988/01/01 to 2008/12/31	642
#6	Search active recovery AND performance Limits: Publication Date from 1988/01/01 to 2008/12/31	12628
#5	Search active recovery OR lactate Limits: Publication Date from 1988/01/01 to 2008/12/31	70547
#4	Search active recovery AND lactate Limits: Publication Date from 1988/01/01 to 2008/12/31	260
#3	Search active recovery Limits: Publication Date from 1988/01/01 to 2008/12/31	7710
#2	Search active recovery Limits: Publication Date from 1988/01/01 to 2008/12/31	7710
#1	Search active recovery	9414

Tab. 1 Suchstrategie

Ich habe die 72 Abstracts gelesen und alle ausgeschlossen, die nicht mein Thema besprechen, wie zum Beispiel Nahrungsergänzungen, Aufwärmen, azyklische Sportarten (Judo, Eishockey, Gymnastik, ausser wenn die Tests ebenfalls aus Sprints, Fahrrad, Laufband oder ähnlichen zyklischen Sportarten bestanden).

Geblichen sind noch 26 Studien, die ich bestellt und gelesen habe. Nach dem Lesen stellte ich fest, dass ich noch 6 Studien ausschliessen muss. Dies auf Grund von nicht erfüllten Einschlusskriterien wie dem Alter, der Sportart oder der Intervention. Drei Studien bekam ich trotz Bestellung über die Schule und Besuch der Sportmediathek in Magglingen nicht und konnte sie so nicht bearbeiten. Dazu kommt, dass eine Studie eine Systematic Review ist, die ich nur als Hintergrund zu Theorie und Diskussion brauche. Im gesamten bleiben so 16 Interventionsstudien übrig, die ich gelesen und bewertet habe. Im Anhang ist eine Tabelle mit allen ein- und ausgeschlossenen Studien ersichtlich.

4.5. Flowchart

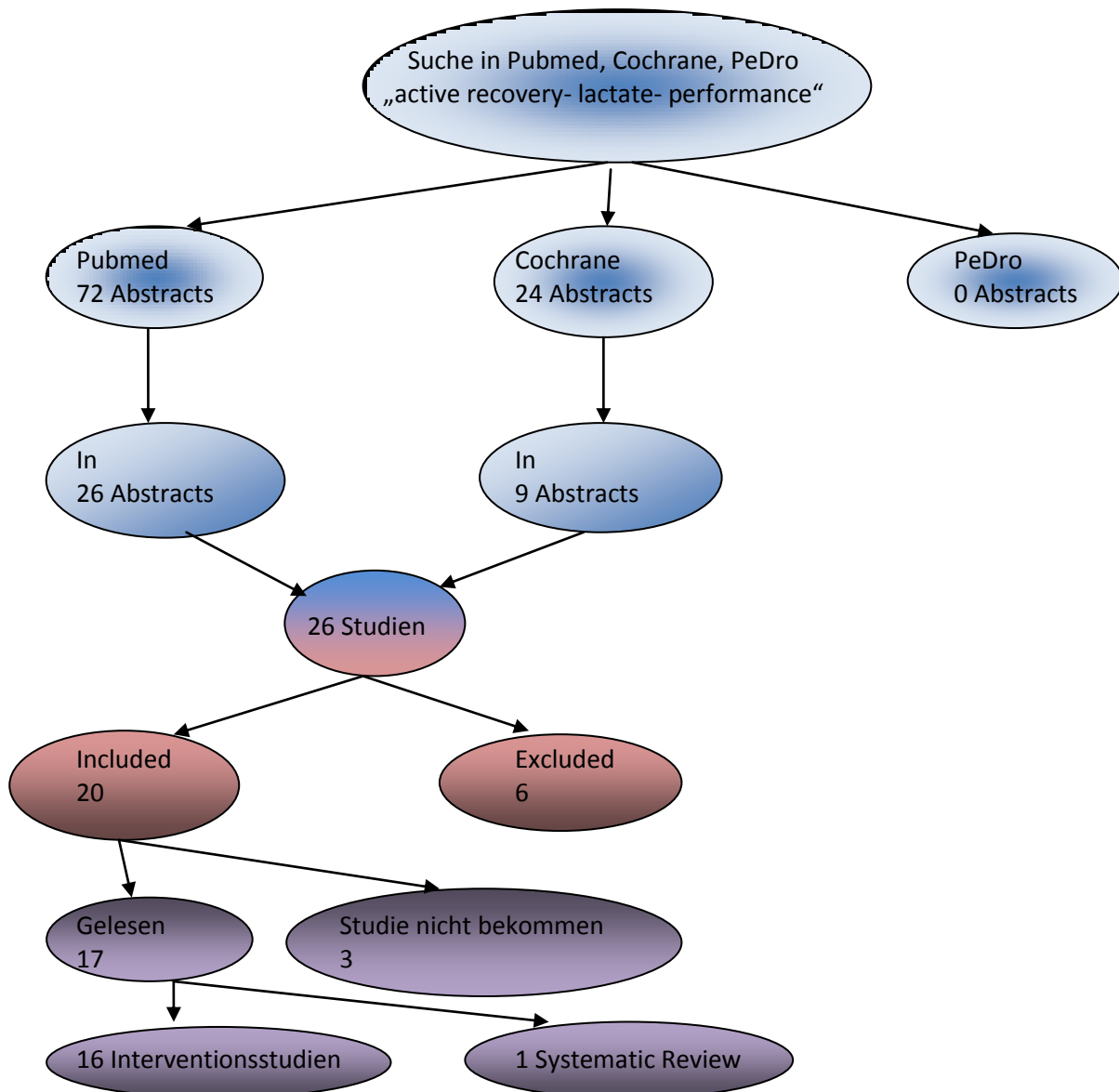


Abb.4 Flowchart

4.6 Datenerfassung

Alle 26 gelesenen Studien habe ich in einer Excel-Tabelle aufgeführt und kurz zusammengefasst. Folgende Daten wurden dabei berücksichtigt:

Autor, Titel, Erscheinungsjahr, Design, die Population und deren Alter, die Intervention und die Hauptoutcomes der Studie sowie ob die Studie ein- oder ausgeschlossen wurde. Dazu ist auch die Begründung für den Ausschluss kurz beschrieben. In einer zweiten

Phase wurden die Studien nach dem Kriterium ‚Intensität der aktiven Erholungsmassnahme‘ (hohe und niedrige) in zwei Tabellen verteilt um, die Outcomes miteinander zu vergleichen. Da die Interventionen der Studien in Bezug auf Sportart, Methoden und Testprotokollen stark variieren, können die Studien nicht gepoolt und statistisch analysiert, sondern nur deskriptiv miteinander verglichen und qualitativ beschrieben werden.

4.7 Bewertung der Studien

Bewertet wurden die Studien mit der Downs&Black-Skala (siehe Anhang). Diese stellt eine Checkliste dar, um die methodologische Qualität von randomisierten und nicht randomisierten Studien aus dem Bereich des Gesundheitswesens zu beurteilen. Die Checkliste enthält 27 Fragen. Diese sind in fünf Kategorien unterteilt:

- Reporting (10 Fragen)
- Externe Validität (3)
- Interne Validität-Confounding (Selection bias, 6)
- Interne Validität (Bias, 7)
- Power (1)

Jede Frage wird mit „yes“ (1 Punkt), „no“ oder „unable to determine“ (0 Punkte) beantwortet, ausser der Power-Frage, Nr. 27 (0-5 Punkteskala) und eine Frage die 0-2Punkte (yes, partially, no) vergibt. Die maximale Punktezahl beträgt 32.

Die Systematic Review habe ich mit der CASP (Critical Appraisal Skills Programme) bewertet. Mit Hilfe von zehn Fragen wird beurteilt, ob die Studie valide ist, welche Resultate sie zeigt und ob diese Resultate weiterhelfen. Die Fragen werden mit „yes“, „no“ und „can’t tell“ beantwortet. Die vollständigen Fragestellungen sind im Anhang zu finden.

4.8 Zusammenfassung der Studien

Blau: Nicht erhaltene Studien

Gelb: Systematic Review

Bla: Laktat

RCT: Randomised Controlled Trial

Nr	Studientitel	Autoren	Jahr	Design	People	Alter	Outcome
1	Performance and metabolism in repeated sprint exercise: effect of recovery intensity	Spencer M, Dawson B, Goodman C, Dascombe B, Bishop D.	2008	semi randomised	9 male team-sport athletes	19 +/-2	Bla/ Performance
3	Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance	Greenwood JD, Moses GE, Bernardino FM, Gaesser GA, Weltman A.	2008	Clinical trial	14 male swimmer	20.3	Bla/ Performance
4	Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with VO2max	Rozenek R, Funato K, Kubo J, Hoshikawa M, Matsuo A.	2007	randomised trials	12 men(wrestling)	20.4 +/-1.2	Bla/ Performance
5	The effect of contrast temperature water therapy on repeated sprint performance	Hamlin MJ	2007	RCT cross over	20 rugbyplayers	19 +/-1	Bla/performance
6	Effect of different intensities of active recovery on sprint swimming performance	Toubekis AG, Smilios I, Bogdanis GC, Mavridis G, Tokmakidis SP.	2006	randomised cross-over	9 swimmer men	18.8 +/- 0.7	Bla/ Performance
7	Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help?	Barnett A.	2006	Systematic review			Bla/ Performance

8	Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery	Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, Duffield R.	2006	RCT	9 men	25 +/- 7	Muscel lactate/performance
9	Active and passive recovery and acid-base kinetics following multiple bouts of intense exercise to exhaustion	Siegler JC	2006	Clinical trial	10 men		pH, Performance
11	Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes.	Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L.	2005		8 men triathletes	21 +/- 1	Bla
12	The influence of recovery duration on multiple sprint cycling performance	Glaister M, Stone MH, Stewart AM, Hughes M, Moir GL.	2005				
13	Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance	Toubekis AG, Douda HT, Tokmakidis SP.	2005	randomised cross-over	16 swimmer(8men,8 women)	21.2 +/- 0.6	Bla/ Performance
14	Effects of recovery mode on performance, O ₂ uptake, and O ₂ deficit during high-intensity intermittent exercise	Dorado C, Sanchis-Moysi J, Calbet JA.	2004		10 Sportstudenten	24.1 +/-2	Performance, lactate
15	Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables	Coffey V, Leveritt M, Gill N.	2004	block randomised multiple cross-over design	14 men	26.4 +/- 6.6	Bla/ Performance

16	Effect of active versus passive recovery on metabolism and performance during subsequent exercise	McAinch AJ, Febbraio MA, Parkin JM, Zhao S, Tantalakis K, Stojanovska L, Carey MF.	2004	RCT	7 men	22+/- 4	Bla/ Performance
17	Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests.	Spierer DK, Goldsmith R, Baran DA, Hryniewicz K, Katz SD.	2004	prospective crossover	6 sedentary, 9 hockey players	32+/-1 bzw. 22 +/- 1	Bla/ Performance
20	Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery	Dupont G, Blondel N, Berthoin S.	2003		12 men	23.6+/-3.7	Performance
22	Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance	Monedero J, Donne B.	2000	randomised intervention trials	18 trained men	25+/- 0.9	Bla/ Performance
24	The effect of various recovery modalities on subsequent performance, in consecutive supramaximal exercise.	Thiriet P, Gozal D, Wouassi D, Oumarou T, Gelas H, Lacour JR.	1993		16		Bla/ Performance
25	The effects of active and passive recovery on short-term, high intensity power output	Signorile JF, Ingalls C, Tremblay LM.	1993		6 males	18-40	Performance
26	Effects of active and passive recovery on lactate removal and subsequent isokinetic muscle function.	Bond V, Adams RG, Tearney RJ, Gresham K, Ruff W.	1991	RCT	5 men	26+/-6	Bla/fatigue

Tab.4 Zusammenfassung der eingeschlossenen Studien

4.9 Analyse

Bewertung/Studie	1	3	4	5	6	8	11	13	14	15	16	17	20	22	25	26
1	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
2	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
3	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes
4	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
5	partially	no	no	no	no	partially	partially	partially	partially	no	no	yes	no	partially	yes	no
6	yes	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
7	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
8	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes	no	yes	yes	yes	no	no	no	yes	yes
9	no	yes	yes	yes	no	no	yes	yes	no	no	no	no	no	yes	no	no
10	yes	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
11	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	no	utd	utd	utd	utd	no
12	utd	utd	utd	utd	no	utd	utd	utd	utd	utd	no	utd	utd	utd	utd	no
13	no	yes	no	yes	yes	no	no	yes	no	utd	utd	no	yes	utd	yes	yes
14	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
15	no	no	no	utd	no	no	no	no	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
16	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes
17	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
18	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
19	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
20	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
21	Internal validity- confounding	yes	yes	yes	yes	utd	yes	yes	yes	utd	utd	no	utd	utd	utd	utd
22	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd
23	no	yes	yes	yes	utd	yes	yes	utd	yes	yes	yes	no	utd	yes	yes	yes
24	no	no	utd	utd	utd	no	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	no	utd
25	no	no	no	no	no	no	no	yes	no	no	no	yes	no	no	no	no
26	utd	utd	yes	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	utd	yes	utd	utd
27	Power	F	F	F	F	F	E	F	F	F	E	D	F	F	D	D
Total score(32)	19	21	21	20	19	20	21	22	21	19	16	18	17	20	20	18

Tab 5 Bewertung mit Down& Black Scale

Die Ergebnisse der Bewertung mit der Down& Black Scale sind in der Tabelle oben ersichtlich. Die genauen Frage-und Antworttestellungen sind im Anhang zu sehen.

Studie/Bewertung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	yes	Can't tell	Can't tell	no	yes	No statistical analyses, lot of differences	No p-value reported	yes	yes	yes

Tabelle 6 Bewertung mit der CASP

In der Tabelle 6 ist eine Analyse der Systematic Review von Barnett(2006) zu finden. Ein Fragebogenbeispiel ist im Anhang zu finden.

Abkürzungen:

Utd: Unable to determine

4. 10 Analyse der einzelnen Studien

4.10.1 Niedrige Intensität (20-45% VO₂max)

Studiennummer	1
Autor	Spencer M, Dawson B, Goodman C, Dascombe B, Bishop D.
Titel	Performance and metabolism in repeated sprint exercise: effect of recovery intensity
Sportart	Fahrradergometer
Intervention	6x 4sec Belastung
Erholung	25sec Pause, 20% VO ₂ max/ 35% VO ₂ max /PR
Resultate Leistung	Leistung ist verglichen mit PR in beiden aktiven Massnahmen schlechter, zwischen den beiden aktiven Massnahmen gibt es keinen signifikanten Unterschied
Resultate Laktat	Keine signifikanten Unterschiede zwischen AR
Bemerkungen	keine Bluttests bei PR

Tabelle 7 Spencer 2008

Studiennummer	3
Autor	Greenwood JD, Moses GE, Bernardino FM, Gaesser GA, Weltman A.
Titel	Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance
Sportart	Schwimmen
Intervention	2x200 yard
Erholung	10min bei Geschwindigkeit Laktatschwelle (21-27% VO ₂ max), 50% (20-27% VO ₂ max) bzw. 150% der Laktatschwelle (22-30% VO ₂ max), PR
Resultate Leistung	bessere Leistungen beim 2.x Schwimmen wenn die Regeneration bei einer Intensität um die Laktatschwelle und Laktatschwelle + 150% war verglichen mit der PR
Resultate Laktat	Mit AR tiefer vor dem zweiten Einsatz
Bemerkungen	

Tabelle 8 Greenwood 2008

Studiennummer	5
Autor	Hamlin MJ
Titel	The effect of contrast temperature water therapy on repeated sprint performance
Sportart	Sprints
Intervention	2x(10X40m)
Erholung	30sec bzw. 1h Pausen, 6min Jogging bei 6,8km/h (23,8% VO ₂ max)
Resultate Leistung	mit CTW besser als mit AR
Resultate Laktat	kein massgeblicher Unterschied zwischen den Erholungsmassnahmen
Bemerkungen	Kontrollgruppe machte wechselwarme Bäder und nicht PR

Tabelle 9 Hamlin 2007

Studiennummer	6
Autor	Toubekis AG, Smilios I, Bogdanis GC, Mavridis G, Tokmakidis SP.
Titel	Effect of different intensities of active recovery on sprint swimming performance
Sportart	Schwimmen

Intervention	8x 25m und nach 6min 1x50m
Erholung	45 sec bzw. 6min, 50% /60% von 100m Bestleistung (entspricht ca.40-45% VO ₂ max) oder PR
Resultate Leistung	Die Leistung bei mit der PR ist signifikant besser als mit beiden aktiven Massnahmen vom 2.x25m an, beim 50m wurden keine signifikanten Zeitunterschiede gemessen (AR vs.PR)
Resultate Laktat	höhere Werte bei der PR nach 8x 25m, welche auch nach 6min Pause unverändert bleiben, mit der AR abnehmen und auch nach dem 50m tiefer sind
Bemerkungen	Kein Unterschied zwischen den beiden aktiven Massnahmen

Tabelle 10 Toubekis 2006

Studiennummer	8
Autor	Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, Duffield R.
Titel	Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery
Sportart	Fahrradergometer
Intervention	6x4s sprints
Erholung	21s bei 32% VO ₂ max x
Resultate Leistung	Abnahme der Maximalen Kraft im 6. Sprint, gesamte Kraftverbrauch Trend zu grösser in AR, total w ist aber gleich wie PR
Resultate Laktat	Muskellaktat höher bei AR direkt nach Test, nach 21s, AR hat Trend zur besseren Senkung, Bla zeigt zu keinem Zeitpunkt Unterschiede AR vs. PR, Trend zu höherem Wert bei AR 1min nach dem Test
Bemerkungen	

Tabelle 11 Spencer 2006

Studennummer	13
Autor	Toubekis AG, Douda HT, Tokmakidis SP.
Titel	Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance
Sportart	Schwimmen
Intervention	8x 25m und nach 6min 1x50m
Erholung	45sec/120sec und 6min, 60% der 100m Bestleistung (entspricht ca. 40-45% VO ₂ max)
Resultate Leistung	Die Geschwindigkeit nimmt bei AR ab, PR mit 120sec-Pause verhilft zu bester Erhaltung der Leistung, 50m ist nach den 120sec-Pausen besser sowohl mit AR als auch mit PR
Resultate Laktat	AR hilft zu einer schnelleren Abnahme des Laktatspiegels, signifikanter Unterschied bei PR mit 120sec-pausen (vs. AR mit gleichen Pausen)
Bemerkungen	

Tabelle 12 Toubekis 2005

Studennummer	14
Autor	Dorado C, Sanchis-Moysi J, Calbet JA.
Titel	Effects of recovery mode on performance, O ₂ uptake, and O ₂ deficit during high-intensity intermittent exercise
Sportart	Fahrradergometer
Intervention	4x fahren bis Ermüdung bei 110%W max(ca 120% vo ₂ max)
Erholung	5min, 20% VO ₂ max / PR
Resultate Leistung	bessere Leistung mit AR(p<0.05)
Resultate Laktat	Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erholungsmassnahmen
Bemerkungen	

Tabelle 13 Dorado 2004

Studennummer	16
Autor	McAinch AJ, Febbraio MA, Parkin JM, Zhao S, Tangalakis K, Stojanovska L, Carey MF.
Titel	Effect of active versus passive recovery on metabolism and performance during subsequent exercise
Sportart	Fahrradergometer
Intervention	2X 20min mit hoher Intensität
Erholung	15min mit 40% VO ₂ peak(= VO ₂ max) oder PR
Resultate Leistung	kein Unterschied zwischen den Erholungsmassnahmen
Resultate Laktat	Muskellaktatwerte gleich bei AR und PR, die Blutlaktatwerte sind tiefer mit der aktiven Massnahme nach 10min und vor der 2. Serie (p<0.05)
Bemerkungen	

Tabelle 14 McAinch 2004

Studiennummer	17
Autor	Spierer DK, Goldsmith R, Baran DA, Hryniewicz K, Katz SD.
Titel	Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests.
Sportart	Fahrradergometer
Intervention	Wiederholte Wingatetests(30sec supramax) bis Ermüdung
Erholung	4min, 28% VO ₂ max
Resultate Leistung	Gesamte w besser bei AR(p<0.05)
Resultate Laktat	Laktat tiefer 30min nach dem letzten Einsatz verglichen mit PR(p<0.05)
Bemerkungen	

Tabelle 15 Spierer 2004

Studiennummer	26
Autor	Bond V, Adams RG, Tearney RJ, Gresham K, Ruff W.
Titel	Effects of active and passive recovery on lactate removal and subsequent isokinetic muscle function.
Sportart	Fahrradergometer
Intervention	60sec bei 150%Vo ₂ max und als nachfolgende Leistung 1.5min isokinetischer Muskeltest des Quadriceps femoris
Erholung	20 min bei 30% VO ₂ max
Resultate Leistung	keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erholungsmassnahmen
Resultate Laktat	Laktatwertrückgang besser bei AR verglichen mit PR(p<0.05)
Bemerkungen	

Tabelle 16 Bond 1991

4.10.2 Hohe Intensität (>50% VO₂max)

Studiennummer	4
Autor	Rozenek R, Funato K, Kubo J, Hoshikawa M, Matsuo A.
Titel	Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with VO ₂ max
Sportart	Laufband
Intervention	Intervalltraining mit verschiedenen Belastungen 15/15, 30/15,
Erholung	15 sec bei 50%v VO ₂ max
Resultate Leistung	
Resultate Laktat	bei 15/15 signifikant tiefere Werte als bei Versuchen bei denen die Belastung länger ist als die Pause
Bemerkungen	keine Kontrollgruppe PR

Tabelle 17 Rozenek 2007

Studiennummer	11
Autor	Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L.
Titel	Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes.
Sportart	Laufband
Intervention	6min bei 75% zwischen IVT und Vo2max
Erholung	30min, 3 verschiedene Intensitäten von AR: IVT(59.3+/-4.2% VO ₂ max), IVT+ 50%(67.4%+/- 3.7) , IVT - 50%(51.1+/-4.9)
Resultate Leistung	Keine Resultate
Resultate Laktat	Bis zur 25min AR besser, IVT- 50% beste Resultate
Bemerkungen	

Tabelle 18 Baldari 2005

Studiennummer	20
Autor	Dupont G, Blondel N, Berthoin S.
Titel	Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery
Sportart	Sprints
Intervention	2x 15sec bei 120% MAS bis zur Ermüdung
Erholung	15sec bei 50% MAS (50% VO ₂ max)
Resultate Leistung	Zeit bis zur Ermüdung war höher mit PR
Resultate Laktat	Keine Resultate
Bemerkungen	

Tabelle 19 Dupont 2003

Studiennummer	22
Autor	Monedero J, Donne B.
Titel	Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance
Sportart	Fahrradergometer
Intervention	2x 5km maximal
Erholung	20min bei 50% VO ₂ max
Resultate Leistung	Kombinierte besser als mit AR oder PR(p<0.05)
Resultate Laktat	Mit AR tiefer vor Beginn der zweiten Serie als mit PR(p<0.01)
Bemerkungen	Kombinierte Erholung

Tabelle 20 Monedero 2000

4.10.3 Andere Studien

Studiennummer	15
Autor	Coffey V, Leveritt M, Gill N
Titel	Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables
Sportart	Laufband
Intervention	2x 120% PRS-Pause-90% PRS-Pause
Erholung	15min(immer PR) bzw. 4h (in den ersten 15min Erholungsmassnahme) bei 40% PRS
Resultate Leistung	Kein signifikanter Unterschied zwischen den Erholungsmassnahmen
Resultate Laktat	Bessere Senkung des Wertes mit AR verglichen zur PR(p<0.05) nach 8,12,16,20min
Bemerkungen	Intensität in VO2max?

Tabelle 21 Coffey 2004

Studiennummer	25
Autor	Signorile JF, Ingalls C, Tremblay LM..
Titel	The effects of active and passive recovery on short-term, high intensity power output
Sportart	Fahrradergometer
Intervention	8x6s supramaximal
Erholung	30sec mit 60rpm und 1kg Widerstand
Resultate Leistung	Gesamtleistung und höchste Kraftwerte(peak power) sind besser mit AR verglichen mit der passiven(p<0.0001)
Resultate Laktat	keine Laktatmessung
Bemerkungen	Intensität in Vo2max

Tabelle 22 Signorile 1993

Studiennummer	14
Autor	Barnett A.
Titel	Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? (Systematic review)
Erholung	Verschiedene aktive und passive Methoden als Übersicht, als Erholung zwischen den Trainings(min. 4h Pause)
Resultate Leistung	Keine grossen Unterschiede
Resultate Laktat	Laktatmessung nicht geeigneter Parameter für die Qualität der Erholung zu messen,
Bemerkungen	Glykogen Resynthese durch aktive Regeneration vermindert?

Tabelle 23 Barnett 2006

5. Resultate

5.1 Vergleich zwischen den Studien

5.1.1 Population/Sportart

Eingeschlossen wurden alle Studien mit Sportlern aus allen zyklischen Sportarten oder solche, die zumindest die Intervention auf einem Fahrrad, Laufband oder im Schwimmbecken durchführten. Das Durchschnittsalter der Sportler reichte vom jüngsten mit 18.8 +/- 0.7 Jahre bis zum ältesten mit 32 +/- 1 Jahre alt. Von den 16 Studien wurden 8 auf dem Fahrradergometer, 5 auf dem Laufband oder auf der Bahn laufend und 3 schwimmend durchgeführt.

5.2 Einfluss auf den Laktatwert

5.2.1 Niedrige Intensität

Von den 8 Studien, deren Regenerationsintensität zwischen 20-45% des $VO_2\max$ liegen, berichten sechs von einer positiven Wirkung auf die Laktatsenkung (Studien ^{3,6,13,16,17,26}), eine blieb ohne Unterschied, verglichen mit der passiven Methode (14) und zwei haben das Laktat nur bei zwei verschiedenen aktiven Regeneration gemessen, dabei aber keinen signifikanten Unterschied gefunden (^{1,5}).

Wenn die Pausen kurz waren, wie dies bei beiden Studien mit Schwimmern der Fall war (Toubekis et al. 2005 und 2006) waren die Laktatwerte nach dem Schwimmen der 8x25m mit 45 oder 120 Sekunden Pause und passiver Regeneration höher als mit der aktiven Massnahmen ($p < 0.05$) und blieben in den 6Min. Pause vor dem 50m unverändert, wohingegen sie bei der aktiven zurückgingen. Auch nach dem 50m-Sprint waren die Werte tiefer als bei der passiven Massnahme ($p < 0.05$). Spencer M & al. haben bei ihrer Studie (Fahrradergometer, 6x 4sec-Sprints bei 21sec Pause) keinen signifikanten Unterschied zwischen der aktiven und der passiven Methode bezüglich der Laktatsenkung gefunden.

Wenn die Pausen nach einer intensiven Belastung bis zur Ermüdung auf dem Fahrradergometer ein wenig länger dauerten (4-5Min.) (Studien ^{14,17}) wurde kein Unterschied zwischen den Massnahmen bzw. ein tieferer Wert 30min nach der letzten Belastung mit der aktiven Regeneration gefunden ($p < 0.05$).

Wenn die Pausen 10-20min dauerten (Studien ^{3, 16, 26}) waren die Werte mit der aktiven Erholung in beiden Studien signifikant tiefer ($p < 0.05$). Die Studie von Hamlin MJ hat

nach intensiven Sprints eine einstündige Pause gemacht und die ersten 6Min. davon zur aktiven Regeneration (Jogging oder wechselwarme Bäder) gebraucht, jedoch keine signifikante Senkung des Laktatswerts festgestellt.

5.2.2 Hohe Intensität

Bei den 4 Studien, bei denen die Intensität der Regeneration höher als 50% $VO_2\text{max}$ beträgt, haben zwei einen positiven Effekt der aktiven Erholungsmassnahme gefunden (Studien ^{11, 22}), eine keinen Unterschied zur passiven Massnahme (Dupont et al. 2003) und die vierte Studie hat keine Kontrollgruppe mit passiver Erholung getestet (Rozenek et al. 2007).

Die Studie von Monedero et al., die auf dem Fahrradergometer und mit 20Min. Pause durchgeführt wurde, erzielte, verglichen mit einer passiven Massnahme, durch die aktive Regeneration positive Resultate auf den Laktatspiegel vor dem zweiten Einsatz ($p<0.01$).

Wenn die Pause 30Min. beträgt, wie bei Baldari et al. und zudem auf dem Laufband und mit drei verschiedenen Intensitäten der aktiven Regeneration, die umgerechnet einen $VO_2\text{max}$ zwischen 51 und 67% betragen, ausgeführt wird, sprechen die Resultate bis zu 25min nach der Belastung für eine aktive Massnahme ($p<0.01$). Danach sind keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe mit der passiven Massnahme ersichtlich. Die besten Resultate wurden bei der Intensität um 51% der $VO_2\text{max}$ erzielt.

Sind die Pausen kurz (15sec) wie bei Dupont et al. konnte kein besserer Effekt der aktiven Regeneration im Vergleich mit der passiven Erholung festgestellt werden.

Bei der Studie von Rozenek et al. ohne passive Kontrollmassnahme, hat Intervalltraining mit verschiedenen Belastungs- und Pausenphasen durchgeführt. Die Intervention mit 15sec Belastung und ebenso langer Pause hatte einen signifikant besseren Effekt auf die Laktatelimination im Blut als die beiden anderen Massnahmen bei denen die Belastung länger war als die Pause (30sec-15sec bzw. 60sec-15sec) ($p<0.05$).

5.3 Einfluss auf die Leistung

5.3.1 Niedrige Intensität

Von den zehn Studien deuten vier Studien (Studien ^{1, 6,8, 13}) auf einen besseren Effekt nach der passiven Massnahme, drei auf einen besseren Effekt der aktiven Regeneration (^{3, 14, 17}), zwei (^{16, 26}) finden keinen signifikanten Unterschied und eine Studie hat zwei aktive Massnahmen untersucht (⁵).

Vergleicht man die Studien in Bezug auf die Regenerationszeit, stellt man fest, dass die Studien mit kurzen Pausen, wie Spencer et al.2008 (25s), Toubekis et al. 2006 (45s), Spencer et al.2006 (21s) und Toubekis et al. 2005(45 bzw.120s) alle von einem positiven Effekt (oder dem Trend dazu) der passiven Massnahme berichten.

Sind die Pausen ein bisschen länger, das heisst 4-5min wie bei Dorado et al. und Spierer et al., wirkt sich die aktive Regeneration besser auf die Leistung (in diesen Fällen die Gesamtleistung) aus. Auch Greenwood et al. zeigt dass die zweiten 200yard verglichen mit der passiven Massnahme schneller geschwommen wurden bei einer zehn minütigen aktiven Regeneration mit einer Intensität um die Laktatschwelle oder Laktatschwelle + 150% ($p=0.005$ bzw. $p=0.03$).

In den zwei Studien in denen die Pause 15-20min dauerte (^{16, 26}) wurde kein signifikanter Unterschied gefunden. Hamlin MJ hat bei seiner Studie keine passive Kontrollmassnahme durchgeführt, sondern die aktive Massnahme mit Kontrasttemperaturbädern verglichen und dabei einen besseren Effekt von diesen auf die Leistung 1h später festgestellt.

5.3.2 Hohe Intensität

In nur zwei Studien wurde die Leistung überhaupt gemessen.

Mondero et al.2000 zeigt dabei einen positiven Effekt der 20 Minuten dauernden aktiven Massnahme bei 50% VO_2max auf die folgenden 5km ($p<0.01$). Im Gegensatz dazu ist die Zeit bis zur Ermüdung in der Studie von Dupont et al. bei kurzen Pausen(15sec) mit der passiven Regeneration länger und somit besser($p<0.001$).

Rozenek et al. hat die wahrgenommene Anstrengung mit Hilfe der RPE (Rating of perceived exertion) gemessen, die beim 15sec-15sec-Intervall signifikant tiefer war als bei den anderen Intervallsequenzen ($p<0.05$). Auch konnten nur 5 der 12 Studienteilnehmer die 60sec-15sec-Belastung beenden.

5.4 Andere Studien

Bei den Studien von Coffey et al. und Signorile et al. habe ich keine geeignete Umrechnungsformeln für die Messdaten (rpm und PRS) in VO_2max gefunden. Deshalb beschreibe ich die Resultate an dieser Stelle.

Nur erstere Studie hat den Laktatwert gemessen und dabei einen positiven Effekt der aktiven Massnahme im Vergleich mit der passiven gefunden ($p < 0.05$) bei einer 15-minütigen Pause auf dem Laufband. Die zweite Belastung folgte nach 4h und zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen aktiver und passiver Regeneration.

Bei Signorile et al hingegen, der die Studienintervention auf dem Fahrradergometer durchführte, war sowohl die Gesamtleistung als auch der höchste Kraftwert (peak power) bei der aktiven Massnahme in den 30sekündigen Pausen besser ($p < 0.0001$).

6. Diskussion

Meine Hypothese war, dass bei einer intensiven Belastung mit kurzen Pausen die aktive Massnahme mit höherer Intensität (im Bereich $>50\%$ VO_2max) im Vergleich zu einer niedrigen Intensität zwar effizienter in Bezug auf die Senkung des Blutlaktats ist, aber keinen oder eher negativen Einfluss auf eine nachfolgende Belastung hat, da sich bei weiterer Belastung die Energiespeicher nicht optimal regenerieren können. Bei längeren Pausen hingegen wirkt sich eine aktive Erholung besser auf eine darauf folgende Belastung aus.

Wie aus den Resultaten ersichtlich ist, hat eine aktive Massnahme fast in allen Fällen einen besseren Effekt auf die Laktatsenkung und ist nicht abhängig von der Intensität der Regeneration.

Bei der Auswirkung auf die Leistung ist die Pausenlänge ein entscheidender Faktor. Ist die Pause kurz wie in den Studien (^{1, 6, 8, 13, 20}) hat eine passive Erholung trotz der meist höheren Laktatwerte einen besseren Effekt. Dauert hingegen die Pause mehrere Minuten, wird eher von einem Vorteil der aktiven Massnahme gesprochen. Ein Vergleich zwischen niedriger und hoher Intensität ist aber schwierig zu machen, da nur zwei Studien (^{4,22}) überhaupt eine aktive Massnahme über 50% des VO_2max angewendet und die Leistung in irgendeiner Form gemessen haben. Nimmt man jedoch diese zwei, stimmt das Resultat mit dem der niedrigen Intensität überein.

In 14 der 16 Studien wurde das Laktat gemessen um eine Aussage über die Erholung zu machen. Wie jedoch in der Studie von Barnett (2006) erklärt wird, ist die Laktatmessung nicht der beste Parameter um die Erholungsqualität zu messen. „Noch vor wenigen Jahren wurde das Laktat oft mit Muskelermüdung und Übersäuerung in Verbindung gebracht. Die letzten wissenschaftlichen Untersuchungen unterstützen jedoch diese Theorien nicht mehr. So soll die Laktatproduktion nicht der Grund für die metabolische Azidose sein und zudem bestehen Hinweise, dass die Übersäuerung der Muskulatur nur einen kleinen wenn überhaupt negativen Effekt auf die Muskelkontraktion hat, im Gegenteil sogar schützende Auswirkungen hat.“ (Barnett 2006)

Wie auch bei den Resultaten meiner Arbeit zu sehen ist, besteht kein klarer Zusammenhang zwischen den Laktatwerten und einer nachfolgenden Leistung. Dieser Effekt wird auch von Barnett (2006) beschrieben. Zudem beschreibt er, „dass die Halbwertszeit von Blutlaktat mit passiver Regeneration bei ca. 15Min. liegt und somit

nach ca.90Min. auf den Ausgangswert zurückgeht.“ Auch Weineck (2004) spricht in seinem Buch von einer „Normalisierung der Werte nach 30-60Min., wobei er noch darauf verweist, dass der Trainingszustand und die Art der Belastung (und somit die Höhe des Laktatspiegels) eine Rolle spielt“. Wenn also die Erholungszeit länger dauert, wie dies zum Beispiel in einem Trainingslager mit zwei Einheiten am Tag der Fall ist, kann das Laktat keinen Einfluss auf die Leistung im zweiten Teil haben.

In meiner Studie habe ich nur zwei Parameter für die Erholung verglichen, da alles andere den Rahmen dieser Diplomarbeit gesprengt hätte. In einigen Studien wird auch der Einfluss der passiven und aktiven Regeneration auf die Herzfrequenz (Studien ^{4, 5, 6, 15, 17, 20, 22}), den pH-Wert im Blut (Studien ^{1, 8, 15}), das Kreatinphosphat (Studien ^{1,8}), das ATP (¹), das Glykogen (¹⁶) die Borg-Skala (⁴) oder den Blutdruck (¹⁷) gemessen.

Zu meiner Hypothese, dass die aktive Erholung mit höherer Intensität eine negative Auswirkung auf die Leistung hat, da die Energiespeicher nicht vollständig gefüllt werden können, ist es somit schwierig eine Aussage zu machen. Vier Studien deuten aber darauf hin, dass die aktive Regeneration eine negative Auswirkung auf die Energiebereitstellung (Glykogen und PCr Resynthese) hat (Studien ^{1, 6, 8, 20}) und eine Studie hat bezüglich dieser Faktoren keinen Unterschied gefunden (¹⁶).

Auch Barnett (2006) beschreibt einen möglichen negativen Einfluss der aktiven Regeneration auf die Energiebereitstellung, genauer auf die Glykogenresynthese. Jedoch sagt er auch, dass hier noch wissenschaftliche Lücken bestehen.

Es existieren viele kleine Interventionsstudien zum Thema, das ich gewählt habe, leider häufig mit nur wenigen Probanden und somit nur mit geringer Aussagekraft bezüglich der ganzen Population. Zudem habe ich mit meiner Suchstrategie nur wenige Studien gefunden, die eine intensivere Methode gewählt haben, deshalb sind die Resultate mit gewissen Vorbehalten zu lesen und weitere Forschung ist angebracht. Dabei ist auch die Tatsache mit einzubeziehen, dass es in dieser Systematic Review eine Korrelation zwischen der Pausenlänge und der Erholung zu geben scheint, jedoch die Laktatwerte und die Auswirkung auf die Leistung nicht offensichtlich zusammenhängen.

Für die Physiotherapie hat die Arbeit insofern eine Bedeutung, weil gerade in einer Rehabilitation, sei es von Sportlern, Orthopädie- oder Traumatologiepatienten, Herz- oder Lungenpatienten oft die Intervallmethode in angepasster Form gebraucht wird. Dabei ist es wichtig zu wissen, wie sich der Patient am besten erholen kann. Bei kurzen

Pausen sollte der Therapeut eher eine passive, bei längeren Pausen eher eine aktive Methode wählen.

Aber auch für mich als aktive Sportlerin sind solche Informationen wichtig für die Trainingsgestaltung. So werde ich zukünftig bei Läufen mit kurzen Pausen eine passive Methode wählen und mich aber bei längeren Unterbrechungen bewegen. Natürlich ist jeder Mensch verschieden und die Erholungsmassnahmen müssen auch diesem subjektiven Empfinden angepasst werden.

6.1 Stärken/Schwächen meiner Studie

Da diese Arbeit meine erste Annäherung an die wissenschaftliche Forschung ist, gibt es sicher noch viele Verbesserungsmöglichkeiten. So wurden weder meine Abstractsliste noch die Bewertung der Studien von einer oder mehreren Personen gegengelesen. Zudem habe ich beim Lesen der Studien gemerkt, dass oft in den Referenzen noch Studien angegeben waren, die eigentlich auch zu meiner Forschungsfrage gepasst hätten. Durch eine Suchstrategie mit anderen Stichworten wäre ich eventuell zu ausführlicheren Resultaten gekommen.

Die eingeschlossenen Studien waren nicht alles randomisierte kontrollierte Versuche, und deshalb wissenschaftlich weniger aussagekräftig. Da es jedoch meines Wissens nicht viele Studien zu diesem Thema gibt, wurden alle eingeschlossen.

Auffallend oft sind in meinen Studien „positive Effekte“ erwähnt. Dies ist einerseits gut, da es zeigt, dass eine Intervention den Sportlern etwas bringt, doch andererseits wird in der Wissenschaft nicht jede Studie publiziert. Oft werden dann Studien, die einen eher negativen oder keinen Effekt zeigen, nicht veröffentlicht und können gerade bei einer Systematic Review das Resultat verfälschen.

Eigentlich haben 20 Studien den Ein- und Ausschlusskriterien entsprochen (eines davon eine Systematic Review). Aber trotz Bestellung über die Schule und dem Besuch der Mediathek in Magglingen bekam ich 3 Studien nicht als Fulltext. So sind auch noch einmal einige Informationen weggefallen.

Als Stärke meiner Arbeit sehe ich, dass sie einen weiten Überblick zum gewählten Thema gibt und einige Lücken, die es noch zu erforschen gibt, aufzeigt. Ausserdem wurde mir von verschiedenen Leuten bestätigt, dass die Autoren der eingeschlossenen Studien, weltbekannt und oft zitiert sind.

Ein grosser Teil der Studien und Bücher die ich gelesen und benutzt habe, ist nach dem Jahr 2000 erschienen und somit basiert die Arbeit auf den neusten Ergebnissen der Wissenschaft.

7. Schlussfolgerung

Wie schon aus der Einleitung ersichtlich wird, ist diese Arbeit zu einem Teil aus physiotherapeutischem Interesse, aber zu einem grossen Teil auch aus persönlichem Interesse entstanden. Noch sind zu diesem Thema viele Fragen offen und diese Arbeit behandelt nur ein kleines Spektrum davon, da alles andere den Rahmen gesprengt hätte. Jedoch gibt es Hinweise, dass nicht unbedingt die Intensität der aktiven Erholung im Mittelpunkt steht, sondern die Pausenlänge.

Auch kommt hervor, dass der Laktatwert und die Auswirkung auf die Leistung nicht klar korrelieren. Dieser Effekt ist in einigen der eingeschlossenen Studien bereits erwähnt.

Auch wenn somit das Ergebnis der Forschungsfrage nicht ganzheitlich geklärt werden konnte, habe ich bei dieser Arbeit sehr viel gelernt: Begriffe und Zusammenhänge wurden geläufiger, ich hatte einen ersten Einblick in die Forschung, habe neue Literatur kennengelernt und kam zu vielen guten Gesprächen und Diskussionen mit Interessierten und Experten. Das Wissen kann ich auch bei meinen beruflichen und sportlichen Zielen gut gebrauchen und integrieren, sei dies als Athletin, Trainerin oder bei einer Weiterbildung zur Sportphysiotherapeutin.

8. Lexikon

VO ₂ max:	Maximale Sauerstoffaufnahme(ml/O ₂ / min). Repräsentiert die 3 Systeme Sauerstoffaufnahme, -transport und -verbrauch. (S.)
MAS:	Maximal aerobic speed, das heisst die maximale Geschwindigkeit, die mittels aerober Energiebereitstellung zu erreichen ist. Die % MAS stimmen mit den % VO ₂ max überein.
Km/h:	Die Stundenkilometer lassen sich mittels der Formel km/h x 3.5 in VO ₂ max (ml/kg /min)umrechnen. Der VO ₂ max eines Sportlers beträgt zwischen 55-80 ml/kg/min. In dieser Arbeit wurde das Spektrum zwischen 60 und 80 ml/kg/min ausgerechnet.
PRS:	Peak running speed, das heisst die höchste erreichte Geschwindigkeit und ist nicht zu verwechseln mit dem MAS. Leider habe ich keine Umrechnungsmöglichkeit in VO ₂ max gefunden.
Laktat:	Salze der Milchsäure, die bei der anaeroben Glykolyse entstehen.
ATP:	Adenosintriphosphat wird unter Energiefreisetzung zu ADP+P abgebaut und wichtig bei der anaerob-alaktaziden Energiebereitstellung.
KP:	Kreatinphosphat ist im Muskel gespeichert und ist bei der anaerob-alaktaziden Energiebereitstellung ein wichtiger Faktor zur ATP-Resynthese.
maxLass:	Maximal Lactat steady state ist der Grenzwert bei dem noch ein Gleichgewicht zwischen Laktatproduktion und -elimination besteht und ist somit gleichzusetzen mit der anaeroben Schwelle.
IAT:	Individual anaerobic thershold, das heisst die individuelle anaerobe Schwelle. In den meisten Quellen wird sie als Durchschnittswert bei 4mmol angegeben. Die anaerobe Schwelle (bis dahin läuft die Energiebereitstellung rein aerob ab) wird bei 2mmol festgelegt
pH-Wert:	Der Indikator für Säure-Basenwerte. Im Blut beträgt die Norm ca. 7,4.

9. Bibliographie

9.1 Referenzen der Studien

9.1.1 Eingeschlossene Studien

- ¹ SPENCER, Matt(et al.). Performance and metabolism in repeated sprint exercise: effect of recovery intensity. *Eur J Appl Physiol*, 2008, no 103, p. 545-552
- ³ GREENWOOD, James D. (et al.). Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance. *Journal of sport Sciences*, 2008, no 26(1), p 29-34
- ⁴ ROZENEK, Ralph (et al.). Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with VO₂max. *Journal of Srength and Conditioning Research*, 2007 no 21 (1), p. 188-192
- ⁵ HAMLIN, Michael J. The effect of contrast temperature water therapy on repeated sprint performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2007, no 10, p. 398-402
- ⁶ TOUBEKIS, Argyris(et al.). Effect of different intensities of active recovery on sprint swimming performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*, 2006 no 31, p 709-716
- ⁸ SPENCER, Matt8et al.). Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery. *Med Sci Sports Excer.*, 2006, no 38(8), p. 1492-1499
- ¹¹ BARNETT, Anthony. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help?. *Sports Med*, 2006, no 36(9), p. 781-796
- ¹³ BALDARI, C.(et al.). Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2005, no. 45, p.460- 466
- ¹⁴ TOUBEKIS, Argyris(et al.). Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance. *Eur J Appl Physiol*, 2005, no 93, p. 694-700
- ¹⁵ DORADO, Cecilia(et al.). Effects of recovery mode on performance, O₂ uptake, and O₂ deficit during high-intensity intermittent exercise. *Can.J.Appl.Physiol.*, 2004, no 29(3), p. 227-244

- ¹⁶ COFFEY, V. (et al.). Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *J Sci med Sport*, 2004, no 7(1), p. 1-10
- ¹⁷ McAINCH, Andrew J. (et al.). Effect of active versus passive recovery on metabolism and performance during subsequent exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2004, no 14, p. 185-196
- ¹⁸ SPIERER, D.K. (et al.). Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests. *Int J Sports Med.*, 2004, no 25, p. 109-114
- ²⁰ DUPONT, Grégory (et al.). Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery. *Eur J Appl Physiol*, 2003, no 89, p. 548-554
- ²² MONEDERO, J. (et al.). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med.*, 2000, no 21, p. 593-597
- ²⁵ SIGNORILE, Joseph F. (et al.). The effects of active and passive recovery on short-term, high intensity power output. *Can.J.Appl.Phys*, 1993, no 18(1), p. 31-42
- ²⁶ BOND, Vernon (et al.). Effects of active and passive recovery on lactate removal and subsequent isokinetic muscle function. *J Sports Med Phys Fitness*, 1991, no 31, p. 357-361

9.1.2 Referenz eingeschlossene, aber nicht erhaltene Studien

- ⁹ SIEGLER, JC. (et al.). Active and passive recovery and acid-base kinetics following multiple bouts of intense exercise to exhaustion. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 2006, no 16(1), p. 92-107
- ¹² GLAISTER, M (et al.). The influence of recovery duration on multiple sprint cycling performance. *J Strength Cond Res.*, 2005, no 19(4), p. 831-837
- ²⁴ THIRIET, P (et al.). The effect of various recovery modalities on subsequent performance, in consecutive supramaximal exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, 1993, no 33(2), p. 118-129

9.1.3 Ausgeschlossene Studien

- ² CASTAGNA, C. (et al.). Effect of Recovery Mode on Repeated Sprint Ability in Young Basketball Players. *J Strength Cond Res.*, 2008, no 22(3), p. 923-929

- ¹⁰ BURGOMASTER, KA (et al.). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol.*, 2006, no 100, p. 2041-2047
- ¹⁸ FRANCHINI, E (et al.). Effects of recovery type after a judo combat on blood lactate removal and on performance in an intermittent anaerobic task. *J sports Med Phys fitness*, 2003, no 43(4), p. 424-431
- ¹⁹ JEMNI, M (et al.). Effect of active and passive recovery on blood lactate and performance during simulated competition in high level gymnasts. *Can J Appl Physiol.*, 2003, no 28(2), p. 240-256
- ²¹ LAU, S (et al.). Comparison of active and passive recovery of blood lactate and subsequent performance of repeated work bouts in ice hockey players. *J Strength Cond Res.*, 2001, no 15(3), p. 267-271
- ²³ CHOI, D (et al.). Effect of passive and active recovery on the resynthesis of muscle glycogen. *Med Sci Sports Exerc.*, 1994, no 26(8), p. 992-996

9.2 Sonstige Referenzen

9.2.1 Studien und Bücher

- ²⁷ DOWNS, Sara H, BLACK, Nick. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community health*, 1998, no 52, p. 377-384
- ²⁸ GEESE, Rolf , HILLEBRECHT, Martin. *Schnelligkeitstraining*. 2.Auflage. Aachen: Meyer& Meyer Verlag, 2006. 175 p.
- ²⁹ SPRING, Hans (et al.). *Theorie und Praxis der Trainingstherapie*. 2. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2005. 317 p.
- ³⁰ VAN DEN BERG, Frans (et al.). *Angewandte Physiologie 2, Organsysteme verstehen und beeinflussen*. 1. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2000. 582 p.
- ³¹ VAN DEN BERG, Frans (et al.). *Angewandte Physiologie 3, Therapie, Training, Tests*. 1. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2001. 623 p.
- ³² WEINECK, Jürgen. *Sportbiologie*. 9. Auflage. Balingen: Spitta Verlag&Co. KG, 2004. 842 p.

9.2.2 Internet

- ³³ *Berkeley Systematic Reviews Group*.(en ligne)
<http://www.medepi.net/meta/index.html> (besucht am 13.Juni 2008)
- ³⁴ NCBI. *PubMed. Medline database* (en ligne).
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez/> (besucht am 27. Juni 2008)
- ³⁶ PEDro. *Physiotherapy Evidence Database* (en ligne).
http://www.pedro.fhs.usyd.edu.au/german/index_german.html (besucht am 25. Juni 2008)
- ³⁷ PHRU. *The Public Health Resource Unit* (en ligne). 2004.
<http://www.phru.nhs.uk/index.htm> (besucht am 15. Juli 2008)
- ³⁸ The Cochrane collaboration. *The reliable source of evidence in health care* (en ligne). <http://www.cochrane.org/index.htm> (besucht am 19. Juni 2008)
- ³⁹ Wikipedia. Die freie Enzyklopädie. *Laktate* (en ligne)
<http://de.wikipedia.org/wiki/Lactat> (besucht am 11. Juli 2008)

9.3 Tabellenverzeichnis**Seite**

Tabelle 1 Suchstrategie	17
Tabelle 4 Zusammenfassung der eingeschlossenen Studien	20
Tabelle 5 Bewertung mit der Down&Black Scale	23
Tabelle 6 Bewertung mit der CASP	24
Tabelle 7 Spencer 2008	25
Tabelle 8 Greenwood 2008	25
Tabelle 9 Hamlin 2007	25
Tabelle 10 Toubekis 2006	26
Tabelle 11 Spencer 2006	26
Tabelle 12 Toubekis 2005	27
Tabelle 13 Dorado 2004	27
Tabelle 14 McAinch 2004	27
Tabelle 15 Spierer 2004	28
Tabelle 16 Bond 1991	28
Tabelle 17 Rozenek 2007	28
Tabelle 18 Baldari 2005	29
Tabelle 19 Dupont 2003	29
Tabelle 20 Monedero 2000	29
Tabelle 21 Coffey 2004	30
Tabelle 22 Signorile 1993	30
Tabelle 23 Barnett 2006	30

9.4 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Energiebereitstellung(nach BADTKe et al.1987)	5
Abb. 2 Laktatelimination	8
Abb. 3 VO ₂ max(ml/kg/min) bei verschiedenen Ttrainingszuständen	12
Abb.4 Flowchart	18

10. Anhang

- Down&Black Scale
- CASP
- Ein- und ausgeschlossene Studien
- Überblick Interventionen-Resultate