

Leistungsdiagnostik mittels Laktat - Leistungskurven

Oberseminar Trainingswissenschaften
WS 1997/98
von
Lars Wendrock

Leistungsdiagnostik mittels Laktatbestimmung Auswertung von Laktatkurven

1. Energiebereitstellung der Muskulatur bei einer Ausdauerbelastung

1.1. Der Muskel

Ein Muskel des Menschen besteht aus einer Vielzahl von Muskelsträngen, welche aus verschiedenen Muskelfasern (\cong Muskelzellen) zusammen gesetzt sind. Die Muskelfaser (Muskelzelle) ist ein System von Muskelfibrillen (kontraktile Fibrillen oder Myofibrillen). Diese wiederum bestehen aus verschiedenen Eiweißfäden, den Aktinfilamenten und den Myosinfilamenten. An die Muskelzelle geht ein Nerv mit einer motorischen Endplatte. Durch diese kleinste funktionelle Einheit wird die eigentliche Muskelkontraktion gewährleistet. Durch eine chemische Reaktion schieben sich die Myosinfilamente und die Aktinfilamente aneinander vorbei („Gleittheorie der Muskelkontraktion“). Die Bewegung der Filamente verbraucht Energie. Diese kann nur in Form eines energiereichen Phosphates umgesetzt werden. Die Energie in Form eines energiereichen Phosphates ist ebenso nötig, um die Muskulatur wieder zu entspannen.

Die Muskulatur benötigt also für jede Bewegung und eine anschließende Entspannung einen Energielieferant. Im menschlichen Körper dient das Adenosintriphosphat als Energielieferant. Es ist die einzige Energie in Form einer chemische Verbindung, mit der die Muskulatur arbeiten kann. Das Vorhandensein von ATP (Adenosintriphosphat) ist also unverzichtbar für jede Aktivität der Muskulatur.

1.2. Die Bereitstellung des ATP

Ein gewisser Vorrat an ATP ist ständig auf Vorrat in der Muskulatur (im Zellwasser). Dieser Vorrat reicht für eine maximale Belastung von etwa 2-3 Sekunden (siehe Abb.1). Sofort bei Beginn des Verbrauchens von ATP wird wieder neues ATP aus Kreatinphosphat und Adenosindiphosphat gebildet. Das Kreatinphosphat ist ebenfalls wie das ATP in einer gewissen Menge bereits in den Muskelzellen. ADP (Adenosindiphosphat) ist ein energiearmes Endprodukt, daß bei der Energiegewinnung aus ATP entsteht und somit auch in der Muskelzelle vorhanden. Der Vorrat an Kreatinphosphat reicht bei maximaler Belastung etwa 8 Sekunden (Abb.1). Sofort zu Beginn der Muskelarbeit setzen noch zwei weitere Prozesse zur Synthetisierung von ATP ein. Die anaerobe und die aerobe Glykolyse. Hierbei wird durch komplizierte chemische Reaktionen chemische Energie in die Form von ATP umgewandelt. Das benötigte Glykogen ist in den Zellen und im Blut durch verschiedene Prozesse der Verdauung vorhanden. Die

bei kürzeren Belastungen stärker wirkende anaerobe Glykolyse gewinnt bei der Umwandlung von Glykogen unter Bildung von Milchsäure (Laktat) aus einem mol Glykogen für den Körper nutzbare Energie in Form von 2 mol ATP. Die anaerobe Glykolyse erreicht bei etwa 30 oder 40 Sekunden ihr Maximum (Abb.1). Dagegen wird durch die aerobe Glykolyse durch die Verbrennung von einem mol Glykogen im sogenannten Zitronensäurezyklus 36 mol ATP gewonnen. Dazu ist allerdings ein ausreichendes Maß an Sauerstoff, der durch die Prozesse der Atmung bereitgestellt wird, nötig. Diese Form der Energiebereitstellung ist die „Normalform“ der Energiegewinnung des Körpers. Nur bei stärkeren Belastungen werden die anderen anaeroben Energiebereitstellungsarten in Aktion treten. Die aerobe Glykolyse ist zwar enorm „energiesparend“ und ausdauernd aber auch langsam. So werden bei hohen Anforderungen an den Muskel die anaerobe Energiebereitstellung zuerst den Großteil der Energie liefern. Die anaeroben Wege der Energiebereitstellung ermöglichen es dem Muskel in kurzer Zeit viel Energie in Form von ATP zuzuführen, aber diese Energiebereitstellung dauert nicht lange an (siehe Abbildung 1).

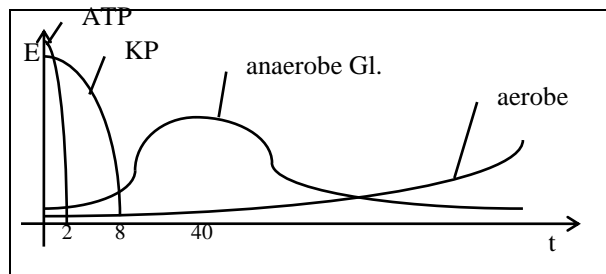


Abb 1

1.3. Laktat als Parameter für die Belastung

Laktat entsteht im Bereich der anaeroben Glykolyse, das heißt bei einer Belastung, für welche die Energie nicht mehr aerob und nicht mit den Reserven an ATP und KP bereitgestellt werden kann. Selbst im Ausdauerbereichen, bei denen hohe Belastungen abverlangt werden, kann der Körper nicht nur auf aeroben Weg die Energie bereitstellen. Er setzt in bei höheren Belastungen auch nach längerer Zeit mit der Energiebereitstellung auf anaeroben Weg ein. Zusätzlich werden bei hohen Belastungen die Kapillaren in den Muskeln verengt und somit die Sauerstoffzufuhr behindert. Der Körper benötigt aber immer noch Energie um die Muskeltätigkeit aufrecht zu erhalten. Also nutzt er die anaeroben Energiequellen. Ist die Belastung im Ausdauerbereich, wird bei der Erzeugung von ATP Laktat freigesetzt. Laktat ist somit ein Stoffwechselprodukt, welches auf eine unzureichende Sauerstoffzufuhr hinweist. Eine gewisse Laktatkonzentration ist im Blut immer enthalten. Nur bei einem erhöhten Anstieg der Laktatkonzentration wird von einer Sauerstoffmangelsituation gesprochen. Das Laktat entsteht bei der anaeroben Glykolyse und diffundiert dann durch die Zellmembranen in das Blutgefäßsystem. Laktat benötigt etwa 2 min um von der Muskelzelle in das Blutgefäßsystem zu gelangen. Bei einigen Belastungen kann dies auch länger dauern (bis 15 min). Dabei ist die Konzentration des Laktats im Muskel immer 2 mmol/l höher, als im Blut gemessen werden kann. Man kann davon ausgehen, je höher die Belastung der Muskulatur im Ausdauerbereich, desto höher wird auch die Laktatkonzentration im Blut sein. Hierbei spielt natürlich die anaerobe

Glykolyse die wesentliche Rolle. Andere Faktoren, die auf die Laktatkonzentration einen Einfluß haben dürfen aber nicht außer Acht gelassen werden.

- Die Größe Glykogenreserven beeinflusst die Laktatkonzentration (ohne Glykogen keine Glykolyse und damit auch kein Laktat).
- Die Masse der Muskulatur und der Anteil der Muskulatur, der an der Bewegung beteiligt ist, bestimmt die Menge des Laktats, welches ins Blut übergeht.
- Die Relation der Fasertypen beeinflusst die Relation der aeroben und der anaeroben Glykolyse und somit auch die Konzentration des Laktats im Blut
- Die Durchlässigkeit der Membranen bestimmen wieviel und in welcher Geschwindigkeit das Laktat ins Blut geht.
- Das Herz ist in der Lage Laktat als Energielieferant zu verwenden. Der Ausmaß eines solchen Laktatabbaues hat natürlich Einfluß auf die Konzentration.
- Die Verträglichkeit des Körpers in Bezug auf die Laktatkonzentration.
- Verschiedene Organe können Laktat aus dem Blut aufnehmen und so die Laktatkonzentration senken (Leber, Niere).
- Körpereigene Puffer können Laktat auffangen (Bikarbonat, Hämoglobin).
 -
 -
 -

Ein erhöhter Laktatwert in den Muskelzellen behindert den Stoffwechsel und die Energiebereitstellung. Somit wirkt die Konzentration des Laktats auch als limitierender Faktor und als Schutzfaktor vor Überbelastungen. Je höher der Laktatwert und damit auch je saurer der PH Wert in den Muskelzellen ist, desto schlechter ist die Energiebereitstellung möglich (um die selbe Leistung zu vollbringen muß ein erheblich höherer Reiz auf den Muskel wirken → Willen). Natürlich wird nach der Belastung das Laktat sofort wieder abgebaut. Die Konzentration halbiert sich in 30 min. Bei hohen Laktatwerten kann man davon ausgehen, daß 0,4 mmol/l in einer Minute abgebaut werden. Nach maximal 3 Stunden kann man dann von einer Konzentration ausgehen, wie vor der Belastung. Von sehr hohen Konzentrationen spricht man bei einer Konzentration von mehr als 20 mmol/l. Die niedrigsten Werte liegen bei etwa 1 mmol/l.

Der meßbare Laktatwert im Blut bei einer bestimmten Belastung hängt also von verschiedenen Faktoren ab:

- **Höhe der anaeroben Kapazität (maximal mögliche Konzentration)**
- **Qualität der Laktatausschüttung (wie schnell aus dem Muskel heraus diffundiert)**
- **Geschwindigkeit des Laktatabbaus (Herz, andere Muskulatur...)**
- **Laktattoleranz (bei hohem Gehalt dennoch weiter Leistung bringen)**

2. Leistungsdiagnostik mittels Laktatkonzentrationsbestimmung

2.1. Laktatmessung als sinnvolle Methode zur Leistungsdiagnostik

Da es bei Massenuntersuchungen und im „normalen“ Trainingsbetrieb nicht möglich ist, die Stoffwechselforgänge in den Muskelzellen direkt zu betrachten, benötigt man andere Parameter um die Belastung des Muskels zu erfahren. Eine leichte und verbreitete Methode ist die der Laktatmessung. Mit einfachen Geräten (Mini8) und einfacher Software können hiermit mit relativ wenig Aufwand Aussagen über die Stoffwechselforgänge in der Muskulatur gemacht werden. Das heißt mit geringem methodischen Aufwand können wertvolle Informationen gewonnen werden. Über die Laktatkonzentration und ihre Relation zu Belastungen der Skelettmuskulatur stehen sehr viele Erkenntnisse zur Verfügung. Der Laktatwert kann relativ schnell und genau bestimmt werden, ohne den Sportler bei der Messung zu sehr zu belasten. Nicht zuletzt ist es möglich die Beziehung zwischen Belastung und Laktatkonzentration in einfachen mathematischen Formeln mit veränderbaren Parametern auszudrücken. Erst hierdurch wird eine leichte Diagnostik mit dem Rechner möglich. Natürlich muß bei einer Messung des Laktatwertes für eine Vergleichbarkeit zu anderen Messungen die gleichen Überlegungen gemacht werden, wie bei allen anderen Meßverfahren oder Tests (gleiche Ausgangssituation? gleiche Zeit im Mikrozyklus? ...). Um Messungen zu standardisieren stehen verschiedene Tests zur Verfügung. Ein solcher Test ist der Stufentest.

2.2. Der Stufentest

Der Grundgedanke für den Stufentest liegt in der Annahme, daß die Laktatkonzentration im Blut mit wachsender Belastung ansteigt. Dabei nimmt man an, das dieser Anstieg annähernd durch die Funktion $y = a e^{bx}$ beschrieben wird. Dabei ist der Laktatwert, also die gemessene Konzentration im Blut und x die Leistung, welche aufgebracht wird. Eine Kurve wird in Abbildung 2 dargestellt.

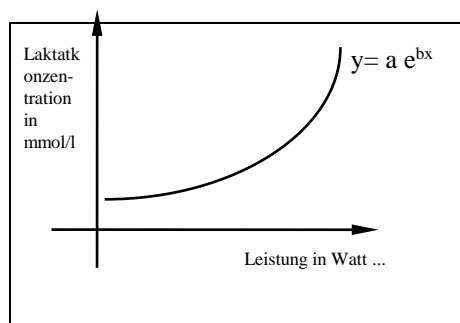


Abb 2

Beim Stufentest werden genau vorgegebene Belastungen vom Sportler, nach Möglichkeit unter standardisierten Bedingungen, ausgeführt. Die Belastung wird nach einer bestimmten Zeit, nach einer bestimmten Strecke, nach einer bestimmten verrichteten Arbeit oder ähnlichem gesteigert. Die Steigerung sollte nicht kontinuierlich erfolgen, sondern in Stufen (allerdings gibt es auch Testverfahren, in denen die Belastungssteigerung kontinuierlich verläuft). Die Belastung in den Stufen ist genau festgelegt (Watt, Umdrehungen, Widerstand,

Strecke, ...). Um die maximale Laktatkonzentration zu erhalten, sollte sich der Sportler bis zu einer Ausbelastung steigern. Die Stufenzahl ist also nicht von Anfang an genau festgelegt. Natürlich sollte man die Stufen so wählen, daß eine Ausbelastung nach einer bestimmten Anzahl von Steigerungen zu erwarten ist. Um die anaerobe Kapazität messen zu können hat es sich als sinnvoll erwiesen, den Test so zu planen, daß er zwischen 20 Minuten und einer Stunde beendet wird. Dabei kommt es natürlich wesentlich darauf an, auf welche Belastung besonderen Wert gelegt werden soll. Spielt die Energiebereitstellung auf anaeroben Weg nur eine untergeordnete Rolle, dann wird ein Test mit einer Stunde Länge oder unter Umständen sogar noch länger sinnvoll. Bei Tests, die besonders die anaerobe Kapazität messen wollen, kann es auch sinnvoll sein, den Test so zu gestalten, daß er noch vor 20 Minuten beendet ist. Es erscheint somit als sinnvoll die Stufen so zu wählen, daß sie eine Länge zwischen 2 und 15 Minuten haben. Damit würde man auf eine Stufenanzahl von mehr als fünf Stufen kommen. Dies erscheint auch in Hinsicht auf die mathematische Formulierung des Sachverhalts (die Genauigkeit der mathematisch beschriebenen Formel der Laktatkurve) als sinnvoll. Um eine gleichmäßig ansteigende Belastung zu erhalten sollte man die Belastung in den Stufen gleich lassen. Um einen gewissen Belastungsreiz zu stellen und weil es beim Sportler natürlich interessant ist, wie er unter Belastung reagiert, sollte bei der ersten Stufe eine Belastung von etwa 70 % der maximalen Leistung angestrebt werden (bei Tests zur aeroben Energiebereitstellung natürlich eine entsprechend geringere Prozentzahl). Die Belastung in den folgenden Stufen kann dann jeweils um 5 bis 10 % erhöht werden (oder 40 bis 50 Watt, oder ...).

Wie oben bereits angesprochen müssen um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Testpersonen und Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Tests einer Person zu gewährleisten die Testbedingungen standardisiert werden. Der zu testende Sportler sollte immer in einer bestimmten Phase eines Mikrozyklus sein. Der Test sollte immer um die gleiche Uhrzeit durchgeführt werden (vor dem Training), die äußeren Bedingungen sollten möglichst unverändert bleiben (Temperatur, Luftfeuchtigkeit...). Ebenso ist es sehr wesentlich, die Messungen alle mit ein und dem selben Gerät, zum selben Abnahmezeitpunkt während des Tests und nach Möglichkeit auch von der selben Person durchgeführt werden. Außerdem muß beachtet werden, daß höhere Frequenzen leicht zu höheren Laktatwerten führen können. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sollte angestrebt werden, die Leistungen der einzelnen Stufen immer mit der selben Frequenz zu erbringen. Ebenso sollte natürlich bei verschiedenen Tests die Frequenz gleich sein, um eine Vergleichbarkeit zu sichern. In der Praxis muß auch darauf geachtet werden, daß der Testablauf relativ unverändert bleibt. Die Pausenlängen und die Tätigkeit in den Pausen spielt dabei ebenso eine Rolle, wie die Wahl der Geräte oder die Einstellung des Sportlers.

2.3. Informationsgehalt einer Laktatkurve

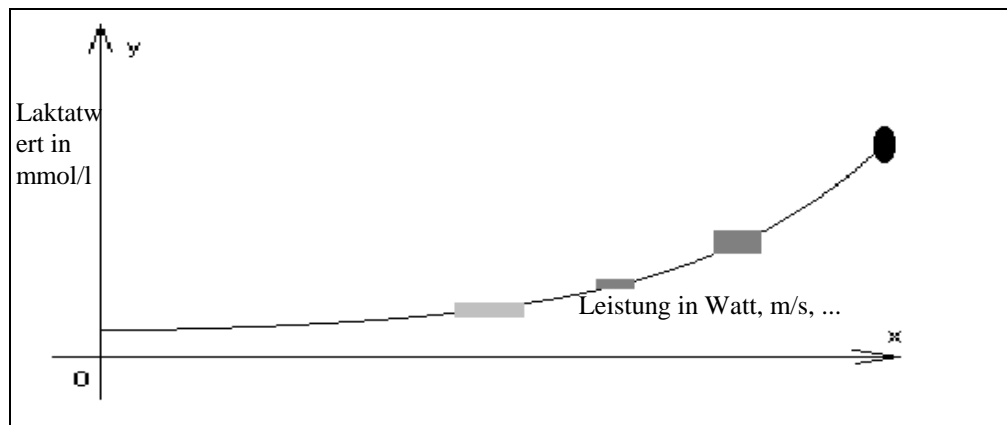


Abb 3

In Abbildung 3 ist eine Laktat - Leistungskurve dargestellt. Die Kurve stellt natürlich nicht die gemessenen Laktatwerte dar, sondern sie ist die mathematische Funktion $y = a e^{bx}$ mit einem a und einem b , welche die Abweichung von den gemessenen Werten sehr gering halten. Aus der Kurve können nun sehr viele verschiedene für eine Leistungsdiagnostik wertvolle Informationen gewonnen werden (Leistungsdiagnostik ist die Ermittlung der Leistungsfähigkeit durch Tests oder Untersuchungsmethoden und anschließender Auswertung und Beurteilung, mit einer Interpretation für die weiterführende Trainingsplanung.) :

1. Die Leistung beim Laktatwert 4 mmol/l kann abgelesen werden . Dabei ist natürlich zu beachten, das Laktat einige Zeit benötigt um in das Blut zu gelangen.
2. Die Leistung beim Laktatwert 2 mmol/l kann abgelesen werden .
3. Die Leistung beim Laktatwert 3 mmol/l kann abgelesen werden .
4. Die maximale Laktatkonzentration kann abgelesen werden . Auch hier ist zu beachten, das nach der Belastung der Laktatwert noch weiter anstiegen kann. Die Messung des maximalen Laktatwertes muß vorher genau definiert werden (Wird als maximaler Wert der angenommen, der innerhalb des Tests erreicht wird oder wird auch nach dem Test noch weiter gemessen und der absolut maximale Wert verwendet?).
5. Der Wert des Parameters b gibt eine Auskunft über das Niveau der Kraftfähigkeiten oder der Technik. Abbildung 4 zeigt zwei Laktatkurven, bei denen sich das b um den Faktor 2 unterscheidet.

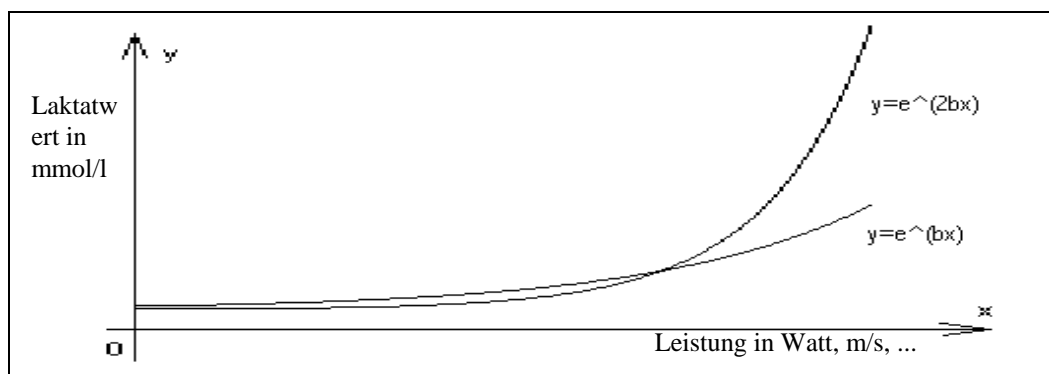


Abb 4

2.3.1. Diskussion der gewonnen Informationen

zu 1.: Bei einem Laktatwert um 4 mmol/l im Blut spricht man von der Schwelle an welcher der Körper von einer gemischten anaeroben - aeroben Energiebereitstellung auf eine vornehmlich anaerobe Energiebereitstellung umstellt. Diese Stelle wird auch steady state genannt (weil sich hier die aerobe und die anaerobe Energiebereitstellung die Waage halten). Diese Schwelle wird oft mit dem Potential der aeroben Energiebereitstellung gleichgesetzt. Aber da hier bereits die Umstellung auf anaerobe Energiebereitstellung erfolgt, ist diese Gleichsetzung nicht richtig. Dem Potential der aeroben Energiebereitstellung würde eher die unter 3 dargestellte Kenngröße entsprechen. Die Umstellung erfolgt natürlich nicht von einem Moment auf den anderen. Vielmehr ist dies ein Prozeß. Ebenso wird die aerobe Energiebereitstellung nie ganz aufhören. Sie verliert lediglich ihre Bedeutung für die Bereitstellung der Energie. Bei verschiedenen Personen kann die Umstellung bei einem unterschiedlichen Laktatwert erfolgen. So kann davon ausgegangen werden, daß bei ausdauertrainierten Sportlern die Umstellung auf eine vornehmlich anaerobe Energiebereitstellung bereits bei einem Laktatwert von weniger als 4 mmol/l erfolgen kann (bei 2,5 - 3,5 mmol/l). Um den Übergang zur hauptsächlich anaeroben Energiebereitstellung zu erfassen kann man die Herzfrequenz (zwischen 150 und 180 /min) oder einen markanten Punkt in der Sauerstoffaufnahmeurve (sofern eine solche Messung durchgeführt wurde) zu Hilfe nehmen. Ein weiteres Hilfsmittel, um die Schwelle zu erkennen, ist die mathematische Untersuchung der angenäherten e - Funktion. Man nimmt die Schwelle etwa bei der Belastung an, bei der die Kurve mit ihrem größten Anstieg beginnt. Diese Stelle ist natürlich abhängig von dem Parameter b der angenäherten e - Funktion (siehe Punkt 5). Die Leistung bei diesem Übergang wird etwa 55 bis 90 % der Maximalen Leistung entsprechen. Diese große Breite der Leistung läßt sich mit den unterschiedlichen Trainingsprinzipien begründen. Ein Sportler aus einer vornehmlich Schnell- oder Maximalkraft dominierten Sportart wird wesentlich eher auf die anaerobe Energiebereitstellung umstellen, als ein Sportler aus einer Langzeitausdauer dominierten Sportart. Die Leistungsdiagnostik anhand der erbrachten Leistung bei 4 mmol/l hat eine hohe Bedeutung im Bereich der Kurzzeitausdauer- und der Mittelzeitausdauersportarten (Sportarten, bei denen ein Trainingsziel die Verbesserung der Kurzzeit- oder Mittelzeitausdauer sind), da hier wirklich in Belastungen gegangen werden oder an Belastungen herangegangen werden, die eine Umstellung auf anaerobe Energie erfordern. Hier kann man die im Stufentest erreichte Leistung bei 4 mmol/l auch als Trainingsvorgabe verwenden. Der Kennwert der 4 mmol/l Schwelle hat sich als sehr gut vergleichbar herausgestellt. Man kann hier besonders sinnvoll im Längsschnitt Aussagen gewinnen. Aber auch im Querschnitt unter Personen in etwa gleichem Trainingszustand können hier gut Vergleiche erfolgen. Die Wirksamkeit aerober Trainingsmittel kann mit diesem Kennwert sehr gut überprüft werden.

zu 2.: Bei einem Laktatwert um 2 mmol/l im Blut spricht man von der Schwelle der rein aeroben zur aerob /anaerob gemischten Energiebereitstellung. Dieser Wert kann beim einzelnen Individuum natürlich auch Schwankungen unterliegen. Wie unter 1. ist dieser Übergang ein Prozeß, den man nicht genau abgrenzen kann. Bei Sportlern kann der Übergang je nach Sportart bei geringeren Konzentrationen oder bei höheren Konzentrationen erfolgen. Bei einer gleichzeitigen

Herzfrequenzmessung könnte man bei einer Frequenz von 120 bis 150 Schlägen pro Minute diese Schwelle erwarten. Die Belastung wird dann etwa 50% bis 60% der Maximalleistung ausmachen. All diese Angaben dienen dazu die Schwelle von der rein aeroben zur gemischt aerob anaeroben Energiebereitstellung zu bestimmen. Der Kennwert des Überganges von der rein aeroben zur gemischt aerob anaeroben Energiebereitstellung kann besonders im Längsschnitt sehr gut verwendet werden.

zu 3.: Leistungen im Langzeitausdauerbereich werden bei einem durchschnittlichen Laktatwert von 3 mmol/l durchgeführt. Diese Konzentration von Laktat im Blut läßt es zu, dem Muskel über längere Zeit genügend Energie bereit zu stellen. Das heißt mit einem Laktatwert um die 3 mmol/l kann der Sportler eine Dauerleistung erbringen. Besonders in Sportarten bei denen die Langzeitausdauer einen hohen Stellenwert hat, ist es sinnvoll anhand dieses Kennwertes die Leistungen zwischen den Sportlern und die Leistungsentwicklung eines Sportlers zu vergleichen. Die Leistung bei 3 mmol/l stellt einen guten Trainingsreiz für ein Training in der Langzeitausdauer dar.

zu 4.: Die maximale Laktatkonzentration gibt die Säureverträglichkeit der Muskulatur an. Es ist besonders in den Sportarten der Kurzeitausdauer von Bedeutung zu erfahren, wie gut die Muskulatur auch noch bei hohen Laktatwerte arbeiten kann. Bei der Diagnostik mit diesem Kennwert ist besonders viel zu beachten. Der Laktatwert steigt nach einer Belastung noch weiter an. Man muß also auch nach der Belastung noch weitere Messungen durchführen um an die höchste Konzentration zu gelangen. Dabei ist natürlich zu beachten, daß der Laktatwert im Muskel wesentlich höher sein kann, als der im Blut gemessene. Nicht nur das die Konzentration im Muskel immer etwa 2 mmol/l konzentrierter als im Blut kann zu Fehlinterpretationen führen. Auch weil das Laktat einige Zeit benötigt, um ins Blut zu gelangen, kann zu falschen Annahmen führen. Schließlich ist die Muskulatur nach Beendigung der Belastung bereits wieder in der Lage Laktat abzubauen. Ebenso bauen die anderen Systeme ständig Laktat ab. So kommt es dazu, einen wesentlich niedrigeren Wert zu messen, als wirklich vorhanden. In der Diagnostik kommt es aber nicht auf den Absolutwert an, sondern vielmehr auf die Vergleichbarkeit der Werte untereinander. Wenn man also die Definition des höchsten Laktatwertes genau vornimmt, kann man eine Vergleichbarkeit erhalten (etwa immer den letzten unter Belastung gemessenen Wert als Maximalwert annehmen oder den absolut höchsten Wert als Maximalwert annehmen...). Bei dieser Kenngröße der Laktat - Leistungskurve muß man allerdings der Motivation der Testperson wesentlich beachten. Die Testperson kann sich verausgaben oder sie kann bei geringem Unwohlsein sofort aufgeben. Der Testdurchführende muß dann bewerten, inwieweit die gemessene Laktatkonzentration wirklich dem maximalen Laktatwert entspricht.

zu 5.: Der Parameter b ist ein wichtiger Faktor bei der Leistungsdiagnostik mit Laktat - Leistungskurven. Aber er ist auch eine Kenngröße, bei der Fehlinterpretationen auftreten können. Die direkten Zusammenhänge zwischen dem Parameter b der angenäherten e - Funktion sind nicht ganz genau geklärt. Die Praxis zeigt aber, daß durch eine Verbesserung der Kraftfähigkeiten und durch eine Verbesserung der Technik der Parameter b beeinflußt werden kann. Man kann also dem Parameter b in Bezug zur Technik und den Kraftfähigkeiten setzen.

Allerdings bewirkt auch eine Ökonomisierung der anaerob / laktaziden Energiebereitstellung eine Verkleinerung des Parameters b in der e -Funktion. Ein sehr großes b hat zur Folge, daß der Anstieg der Kurve (nach dem Schwellenwert von 4 mmol/l) sehr groß wird. Daraus ließe sich folgern, daß die Technik der getesteten Fertigkeit bei zu hoher Belastung einfach zusammengebrochen ist und der Sportler in eine unökonomische Technik verfallen ist.

2.3.2. Anwendbarkeit der Leistungsdiagnostik mit der Laktat -Leistungskurve

Die aus dem Stufentest gewonnenen Werte und ihre Interpretation dürfen nicht überbewertet werden. Zwar bietet die Leistungsdiagnostik mittels Laktatkonzentrationsbestimmung einen sehr guten Anhalt über die Prozesse im Muskel, aber durch verschiedene Fehler können relativ große Abweichungen auftreten. So ist es möglich schon bei der Abnahme des Blutes die Laktatkonzentration zu verändern, indem man an einer mit Schweiß benetzten Stelle abnimmt. Die Geräte zur Bestimmung der Konzentration messen mit verschiedenen Meßstreifen bei verschiedenen Temperaturen unterschiedlich. Eine Leistungsdiagnostik sollte sich also nicht auf eine oder einige wenige Laktat - Leistungskurven aufbauen, sondern es sollte dazu eine möglichst große Zahl von Tests durchgeführt werden, um nicht durch die auftretenden Abweichungen in eine falsche Richtung gelenkt zu werden. Außerdem kann es zu Fehlern führen, wenn die Kurven nur an Hand eines Parameters beurteilt werden. Die durch Training wirkenden Prozesse haben eine Auswirkung auf alle oben angesprochenen Kennwerte der Kurve. Es muß also darauf geachtet werden, die Parameter nicht isoliert zu betrachten, sondern in einen Zusammenhang zu sehen. Dazu hat es sich als sinnvoll erwiesen, von einer linearen Regressionsgeraden auszugehen

$$P_{\max} = a_0 + a_1 P_{4,0} - a_2 b + L_{\max}$$

Dabei ist P_{\max} die maximale Leistung, $P_{4,0}$ die Leistung beim Schwellenwert von 4 mmol/l, b der Parameter in der Funktion $y = a e^{bx}$ und L_{\max} die maximal gemessene Laktatkonzentration. Die angegebenen a_i ($i=0, 1, 2$) sind positive reelle Zahlen. Durch einen solchen multiplen Zusammenhang wird die Wechselwirkung zwischen den Kennwerten der Laktat -Leistungskurve sehr gut verdeutlicht.

Es ist immer sinnvoll die ganze Kurve zu betrachten. Aber um eine genaue und spezifische Auswertung des Trainings durch einen Stufentest zu erhalten ist es natürlich besonders wichtig, auf die für die jeweilige Sportart entscheidenden Kenndaten zu achten, ohne dabei den Zusammenhang aus den Augen zu verlieren. Bei der anschließenden Trainingssteuerung wird natürlich verstärkt mit einem Kennwert gearbeitet (etwa die Leistung bei 3 mmol/l für Langzeitausdauersportarten). Die Leistungsdiagnostik kann bei heutigem Entwicklungsstand nicht allein der Technik überlassen werden. Vielmehr erscheint es immer noch neben der mathematischen Auswertung auch eine persönliche Auswertung vorzunehmen und dabei Erfahrungen mit einzubringen. Durch verschiedene Fehler in der Testdurchführung und bei der Messung kann es zu Fehlinterpretationen kommen, die bei Interpretation eine falsche Trainingsplanung nach sich ziehen würde. Es ist deshalb auch manchmal angebracht einen durchgeführten Test nicht auszuwerten, wenn die Werte allzusehr von den erwarteten abweichen.

3. Interpretation an Beispielen

Bei den folgenden Beispielen wurden im Diagramm jeweils zwei Kurven dargestellt. Eine Kurve soll einen repräsentativen Stufentest vor einem bestimmten Trainingszeitraum und die andere Kurve einen Stufentest nach dem Trainingszeitraum darstellen. In der Bezeichnung der Kurven sind die abgelesenen Veränderungen genannt. Natürlich wird man in der Praxis keine solch idealen Kurven und Veränderungen finden. Aber um eine Interpretation zu verdeutlichen wurden eben diese idealen Veränderungen gewählt. Die Leistungen nach dem Trainingszeitraum sind alle wesentlich höher, als vorher. Insofern sind also alle unten aufgeführten Beispiele auf erfolgreiches Training zurückzuführen (wenn die Bedingungen für die Tests eingehalten wurden.).

3.1. Abflachung der Kurve (um $\frac{1}{2} b$) bei gleichzeitiger Verschiebung nach links (um zwei Einheiten)

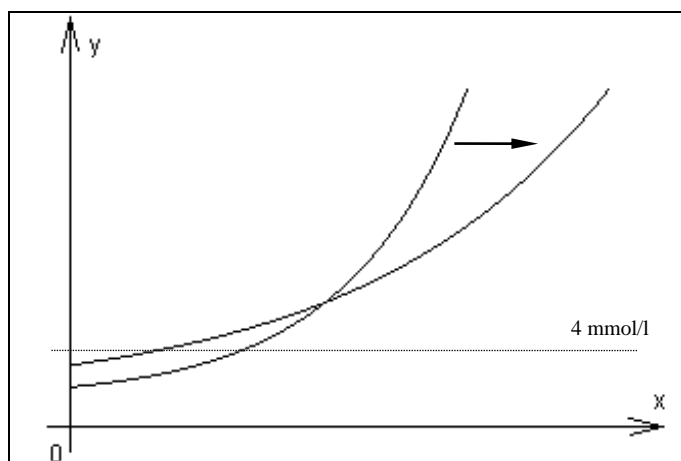


Abb 5

Die aerobe Leistungsfähigkeit hat sich durch das Training verschlechtert. Die anaerob / laktazide Leistungsfähigkeit hat sich verbessert. Man kann also sagen, die Verbesserung der anaeroben Leistungsfähigkeit führte zu einer Verschlechterung der aerobe Leistungsfähigkeit. Oder der Rückgang der aeroben Leistungsfähigkeit bewirkte eine Steigerung der anaeroben Leistungsfähigkeit. Natürlich kann eine solche Veränderung der Laktat - Leistungskurven nur bei Sportler, die in Disziplinen der Kurzzeit oder Mittelzeitausdauer trainieren als Erfolg betrachtet werden. Solche Veränderungen sind mit einem Training im Bereich der Kurz oder Mittelzeitausdauer zu erreichen. In der Praxis zeigte sich, daß eine solche Entwicklung sogar einen Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme zur Folge haben kann.

3.2. Abflachung (um $\frac{1}{4} b$)

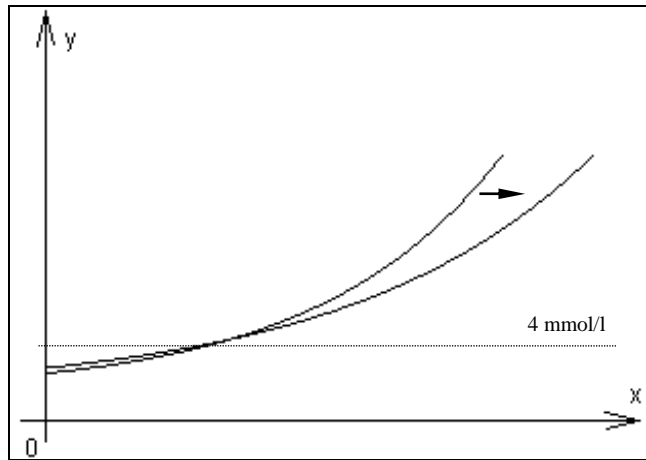


Abb 6

Die aerobe Leistungsfähigkeit ist etwa gleich geblieben. Daraus kann man schließen, daß der Sportler weiter im Bereich der Ausdauer trainiert hat, ohne hier einen Schwerpunkt zu setzen. Er hat seine aerobe Leistungsfähigkeit erhalten, also gefestigt. Die Leistungssteigerung ist zurückzuführen auf eine Verbesserung im anaerob / laktaziden Bereich der Energiebereitstellung. Eine Ökonomisierung ist wahrscheinlich nicht nur in Bezug auf die Energiebereitstellung zu beobachten, sondern auch in Hinsicht auf die Kriterien der Technik. Da die Trainingsfortschritte hier auch im Bereich der anaeroben / laktaziden Energiebereitstellung erfolgt ist, läßt sich vermuten, daß der Sportler ein Training im Bereich der Kurzeitenausdauer aber mit Komponenten der allgemeinen Grundlagenausdauer durchgeführt hat. Die Literatur gibt hier eine Belastungsdauer von etwa 30 Sekunden bei einer hohen Wiederholungszahl an. Ich nehme aber an daß eine solche Veränderung der Kurve bei Belastungsdauern von 30 bis 60 Sekunden erreicht werden, da hier die Ausschöpfung der anaeroben Energiebereitstellung besser erfolgt. Es bliebe dadurch eine gewisse aerobe Leistung erhalten, wie ja aus der Kurve heraus lesbar.

3.3. Rechtsverschiebung der Kurve (um zwei Einheiten)

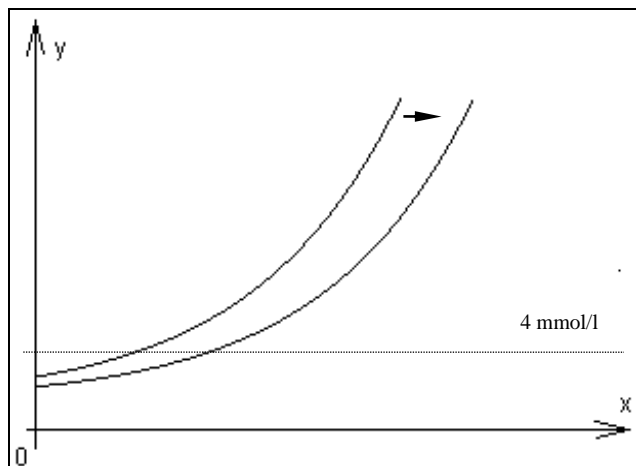


Abb 7

Die aerobe Leistungsfähigkeit hat sich im Vergleich zu dem ersten Test verbessert. Da das Anstiegsverhalten gleich geblieben ist, wurde wahrscheinlich Grundlagentraining durchgeführt. Die Güte der Ausführung der sportlichen Fertigkeit hat sich nicht verändert. Ebenso unverändert ist der Bereich der anaerob / laktaziden Energiebereitstellung (sieht man von dem späteren Einsetzen und der damit erhöhten Endleistung ab). Oft wird eine Rechtsverschiebung der Laktat - Leistungskurve von einer Erhöhung des Anstiegsverhaltens im zweiten Teil der Kurve begleitet. Dies ist mit dem Training in Grundlagenbereich zu begründen. Durch Training der Grundlagenausdauer kann natürlich kaum eine Verbesserung der anaeroben Leistungsfähigkeit oder der Technik erwartet werden. Bei einem solchen Verlauf (wie bei allen Verläufen, wo sich der Parameter b verringert) kann es aber ebenso vorkommen, daß die Glykogenreserven des Sportlers vor dem Test bereits entleert waren, etwa durch eine anstrengende Trainingseinheit vor dem Test.

3.4. Rechtsverschiebung (um zwei Einheiten) bei gleichzeitiger Abflachung (um $1/3 b$)

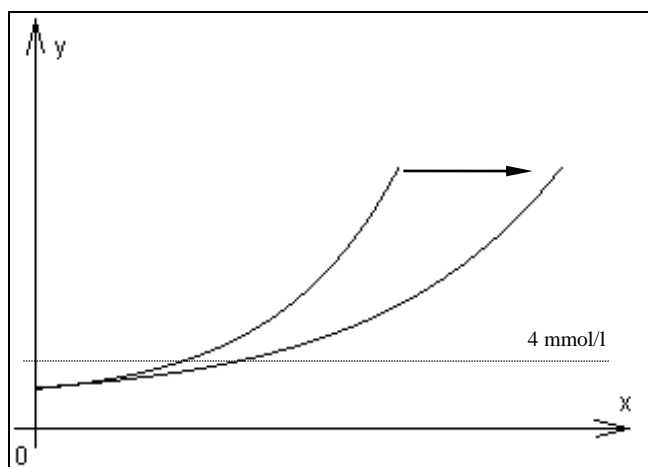


Abb 8

Diese Veränderung der Laktat - Leistungskurve stellt oft den Idealtyp oder das Ziel des Trainings dar. Die Verbesserung der aeroben Energiebereitstellung geht einher mit der Ökonomisierung der anaerob / laktaziden Energiebereitstellung. Es sind also beide Arten der Energieversorgung verbessert worden. Dies kann mit einem Training im Bereich der Mittelzeitausdauer und einem variablen Training (Teile von Mittelzeit, Langzeit und Kurzzeitausdauer) erreicht werden. Wenn bei einer solchen Veränderung der Kurve die Spezifik der Sportart in Belastung und Technik ebenfalls trainiert wird und die Belastung ebenfalls im Bereich der Wettkampfbelastung liegt, dann ist Training bei dem eine solche Veränderung eintritt das erfolgreichste bei Sportarten, bei denen es sowohl auf aerobe als auch auf anaerobe Energiebereitstellung ankommt.

3.5. Erhöhung der maximalen Laktatkonzentration

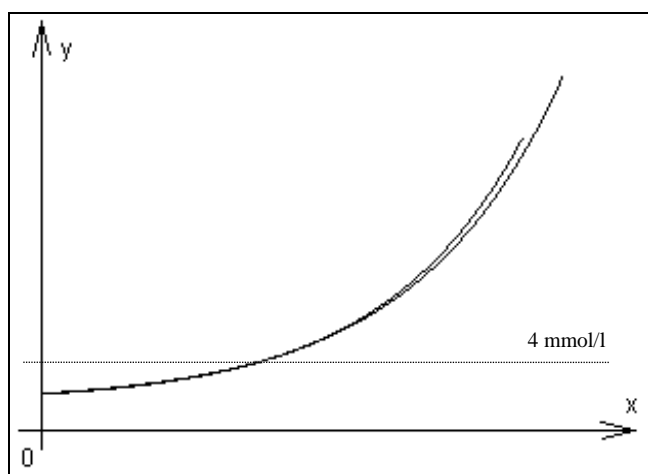


Abb 9

An der Kurve kann man ablesen, daß die maximale Laktatkonzentration gestiegen ist. Im Training wurde also intensiv an der Laktatverträglichkeit gearbeitet. Der Sportler trainierte bis zu Erschöpfung und „gewöhnte“ sich so an die hohen Konzentrationen im Blut. Diese Verbesserung maximalen Leistung ist eher ein kurzfristiger Effekt, der bei einer guten Motivation auftritt. Für eine langfristige Leistungsverbesserung spielt diese Möglichkeit eine eher untergeordnete Rolle. An diesen Kurven kann man aber auch sehr gut die Grenzen eines Stufentests erkennen. Es ist nämlich möglich, daß der Sportler keine wirkliche Verbesserung der Laktatverträglichkeit aufweist, sondern daß er beim zweiten Test nur besser motiviert war und dadurch eine höhere Leistung schaffte. Um dieses Training als Erfolg zu bezeichnen muß der Testende nachweisen können, daß sich der Sportler bei beiden Tests annähernd gleich anstrenge.

Anstiegsvergrößerung (um 2 b) bei gleichzeitiger Rechtsverschiebung (um vier Einheiten)

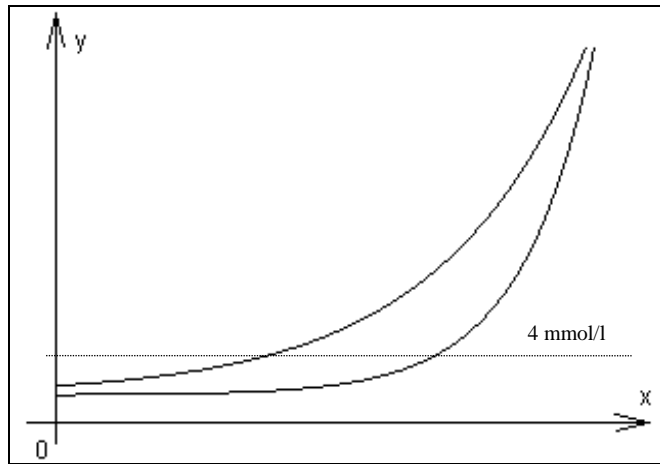


Abb 10

Eine Vergrößerung des Parameters p hat zur Folge, daß sich die Kurve besonders im zweiten Teil (nach 4 mmol/l Schwelle) stark ansteigt. Es bedeutet, daß im Training sehr großen Wert auf die aerobe Ausdauer gelegt wurde. Dabei konnte die Leistung bei aerober Energiebereitstellung erhöht werden. Gleichzeitig kann aber der Sportler nicht lang Energie auf anaerobem Weg bereit stellen. Ziemlich schnell wird das Blut mit Laktat angereichert, sobald die 4 mmol/l Schwelle überschritten ist. Insgesamt ist aber die Leistungsfähigkeit verbessert worden. Eine solche Veränderung der Kurve kann man in Langzeitausdauersportarten anstreben.

4. Fazit

Leistungsdiagnostik mit Laktatmessung bietet einen guten Ansatz, um Prozesse zu erfassen, die direkt in den Muskelzellen stattfinden. Bei der Auswertung von standardisierten Tests helfen verschiedene mathematische Ansätze. Es ist aber immer notwendig die Daten auch „persönlich“ zu interpretieren. Bei Tests zur Leistungsdiagnostik mit Laktat können sehr viele Fehler gemacht werden. Es muß hier, ebenso wie beim Abnehmen von Laktatwerten im Training oder im Wettkampf viel beachtet werden. Um eine Laktat - Leistungskurve zu interpretieren muß sehr genau über die Vorgänge in den Muskelzellen nachgedacht werden. Man muß aber ebenso die Vorgänge des ganzen Körpers und die Umwelt beachten. Man kann also sagen, Laktatmessungen bieten sehr gute Möglichkeiten für eine richtige Leistungsdiagnostik, man muß aber bei der Durchführung der Tests und der Interpretation der Daten immer alle Bedingungen mit beachten.

Literatur:

- Josef Nöcker: Die biologischen Grundlagen der Leistungssteigerung durch Training, Verlag Karl Hoffmann, Schorndorf, 1989
- Fritz Zintl: Ausdauertraining, BLV Verlagsgesellschaft mbH München 1994
- R., J. Shephard, P.-O. Astrand: Ausdauer im Sport, Deutscher Ärzte - Verlag GmbH Köln 1993
- G. Neumann, A. Pfützner, K. Hottenrott: Alles unter Kontrolle - Ausdauertraining, Meyer und Meyer Verlag Aachen 1995
- W. Lang: Lebenselexier Ausdauertraining, Wien 1992
- K. Hottenrott: Ausdauerprogramme, Reinbeck 1995
- Geiger : Ausdauersportleitfaden, Oberhaching 1988
- Grosser, Neumaier: Kontrollverfahren zur Leistungsoptimierung, Verlag Karl Hoffmann, Schorndorf 1988
- B. Mühlfriedel: Trainingslehre, Verlag Moritz Diesterweg GmbH & Co Frankfurt am Main 1987
- H de Marees, J. Mester: Sportphysiologie I, Verlag Moritz Diesterweg GmbH & Co Frankfurt am Main 1991
- B. Pansold, J. Zimmer, R. Buckwitz, R. Dehmlow: Leistungsdiagnostik mit Laktat und Mini 8, Berlin 1993 sowie die zugehörige Software Stufentest 2.0 Programm der Universitätsklinik der TU Dresden zur Auswertung von Laktatmessungen