

MICHAEL-N.INFO

**MICHAEL
NEDWED**

MYOGLOBIN

JULI 2009

Myoglobin (MB)

Im Freitauchbereich wird ja gerne nach Erklärungen gesucht warum gewisse Leistungen möglich sind und dabei werden auch die Funktionen unseres Körpers genauer betrachtet. Manche suchen so verzweifelt, dass sie sich gerne auch auf abstruse Theorien einlassen.

Ich bezweifle nicht das in einem gewissen Maß die Möglichkeit gegeben ist sich „verlorene“ Gaben wieder anzutrainieren, aber ich glaube nicht das innerhalb einer Generation sich der Mensch genetisch an Veränderungen anpassen und höhere Leistungen erbringen kann.

Auslöser ist mal wieder eine Theorie, die sich auf tauchende Säugetiere bezieht. Diese haben einen wesentlich höheren Myoglobingehalt als wir Menschen und schon war die Theorie geboren, man könne durch Training den eigenen Myoglobingehalt erhöhen, dadurch einen zusätzlichen Sauerstoffspeicher schaffen und somit die Tauchleistung erhöhen.

Dazu muss man natürlich wissen, was ist Myoglobin, was bewirkt es und ob man es durch Training wirklich erhöhen kann.

Myo kommt aus dem Griechischen und bedeutet "Bezug zum Muskel" und Globine sind Proteinbestandteile.

Myoglobin ist ein Sauerstoffbindendes Protein. Die Synthese des Myoglobins findet beim Menschen ausschließlich in der Quergestreiften Muskulatur (Herz- und Skelettmuskulatur) statt, wobei in der auf Ausdauerleistung ausgelegten Muskulatur der Myoglobingehalt höher ist als in Muskeln, die auf kurzfristige Belastungen konzipiert sind. In anderen Geweben ist kein Myoglobin nachweisbar.

Myoglobin bindet mit der sechsfachen Affinität (Maß für die Bindungsstärke) des Hämoglobins, wobei die Affinität des Myoglobins im Gegensatz zum Hämoglobin unabhängig vom herrschenden Partialdruck ist. Es hat also immer die gleiche "Sättigung", unabhängig davon ob der PO_2 hoch oder niedrig ist. Dadurch ist im Prinzip gewährleistet, dass ein konstanter Gradient vorhanden ist, der dem Blut sehr schnell den benötigten Sauerstoff entziehen kann. Myoglobin bindet pro Molekül ein Molekül Sauerstoff, ein Molekül Hämoglobin bindet maximal 4 Moleküle Sauerstoff.

Obwohl Myoglobin im Blut festgestellt werden kann, ist es kein funktionaler Bestandteil des Blutes, sondern wird durch absterbende oder beschädigte Zellen freigesetzt und wie andere Abfallprodukte durch das Blut zur Entsorgung in die Nieren transportiert. Im menschlichen Körper sterben pro Sekunde von den etwa 100 Billionen Zellen etwa 10-50 Millionen Zellen ab und werden erneuert. Durch diesen natürlichen und unbedenklichen Vorgang wird das Myoglobin in den Blutkreislauf abgegeben. Die Halbwertszeit im Blut beträgt nur 10-20 Minuten, da es rasch durch die Nieren abgebaut wird.

Die Normwerte für Myoglobin im Blut, ohne Belastung, liegen für Frauen bei $<35 \mu\text{g/l}$ und für Männer bei $<55 \mu\text{g/l}$.

Anhand der Konzentration des Myoglobins im Blut wird in der Sportmedizin der Trainingszustand analysiert.

Es gibt vordefinierte Belastungstests, an denen man den "Myoglobinauswurf" im Blut beurteilen kann. Übersteigt der Myoglobinwert im Blut einen Wert von $>110 \mu\text{g/l}$, spricht man von einer Überbelastung der Muskulatur. Je höher der Wert, desto schlechter fällt die Beurteilung des Trainingszustandes aus. Ein hoher Myoglobinwert im Blut hat keinerlei Aussagekraft bezüglich des Myoglobingehaltes in der Muskulatur.

Die Differenz von den Normwerten bis $110 \mu\text{g/l}$ unter Belastung, nimmt man als normal an, da auch bei Sportlern unter Belastung ein Anstieg in diesem Bereich als unvermeidbar angesehen wird.

Die Frage nach der Funktion des Myoglobins ist von der Forschung noch nicht abschließend beantwortet. Bei tauchenden Säugetieren ist das MB eindeutig als O_2 -Speicher anzusehen.

Bei Wirbeltieren und Menschen, die hauptsächlich an Land leben, sieht dies anders aus. Selbst unter Anoxie (vollständiges Fehlen von Sauerstoff) gibt das menschliche MB nur etwa 50% des gespeicherten O₂ ab. Ich weise explizit darauf hin, dass der Begriff Anoxie hierbei wichtig ist und nicht mit Hypoxie (Sauerstoffmangel) gleichzusetzen ist.

Da Myoglobin selbst unter der Bedingung, dass im Blut kein O₂ mehr angeliefert wird, lediglich 50% O₂ freigibt, ist es als Notlauf-Kapazität in unserem biologischen Design wohl kaum vorgesehen. Im Umkehrschluss kann man davon ausgehen, dass bei einer Hypoxie dann sogar weniger als die 50% O₂ abgegeben werden.

Eine mögliche These, dass der Muskel unter Normalbedingungen kein MB benötigt, beruht auf lebensfähigen Mausmutanten, die über kein MB verfügen. In diesem Fall reicht der normale O₂-Gradient zur O₂-Versorgung des Muskels aus. Jedoch bei temporärer Hypoxie (O₂-Mangel), wie sie z. Bsp. bei erhöhter Muskelaktivität auftreten, reicht der normale O₂-Gradient nicht mehr zur Versorgung der Mitochondrien aus. Das kann man wohl auf die längere Zeitspanne zurückführen, die die Diffusion im Verhältnis zur "Myoglobinfunktionalität" benötigt um den Sauerstoff zum Verarbeitungsort zu transportieren.

Der Muskel erhält durch das MB seine Farbe, je höher der Myoglobingehalt, desto dunkler der Muskel. Der Mensch verfügt über etwa 6 mg Myoglobin pro g Muskel.

Der Pottwal (schwarzes Muskelfleisch) hat ein Verhältnis von ca. 56 mg/g und Robben 52 mg/g.

Würde man der Theorie folgen, das eine Steigerung des Myoglobins in einem Rahmen möglich wäre, das es beim Menschen eine Speicherfunktion ähnlich der der tauchenden Säugetiere bewerkstelligen könnte, müsste sich dies bezüglich der Muskelfärbung auswirken.

Anhand der O₂-Bindungskapazität des MB stehen nun pro Kg Muskelmasse folgende O₂ "Vorräte" zur Verfügung:

Mensch	8 ml
Robbe	69,3 ml
Pottwal	74,7 ml

Ob die Myoglobinkonzentration im Muskel durch Training erhöht werden kann, ist noch umstritten. Die große Mehrheit der entsprechenden Veröffentlichungen spricht für diese Möglichkeit, obwohl es gelegentlich auch abweichende Befunde gibt.

In welchem Bereich sich die Steigerungsrate bewegen, konnte ich bislang nicht feststellen.

Selbst wenn wir eine Steigerung von 100% annehmen, könnte eine solche Steigerung den Körper nicht über einen längeren Zeitraum mit Sauerstoff versorgen. Unter Belastung reicht der Sauerstoff der an das Myoglobin gebunden ist, selbst nach dieser Steigerung lediglich für wenige Sekunden. Für Sportarten, bei denen es um Belastungen in diesen geringen Bereichen geht, spielt eine rasche Weitergabe von O₂ natürlich eine Rolle. Jedoch wird hier auch permanent Sauerstoff zugeführt. Im Apnoetauchsport ist der O₂ Vorrat jedoch limitiert und die Folgen des Verbrauchs im Grenzwertbereich wesentlich gefährlicher als bei den gängigen Landsportarten.

Betreibt man Sport bilden sich die Körper-Systeme weiter aus. Das Blutvolumen steigt, die Muskelmasse erhöht sich und die Effektivität der Muskulatur wird verbessert. Das sich das Myoglobin ebenfalls anpasst dürfte unstrittig sein. Bedingt durch die höhere Muskelmasse und nur dort gibt es ja das Myoglobin, erhöht sich auch die Zahl der Mitochondrien (die "Kraftwerke" der Zellen). Es ist also nicht unbedingt so zu verstehen, dass sich pro Kg Muskelmasse die Masse des Myoglobins sich exorbitant erhöht, sondern in einem bestimmten Verhältnis zur Muskelmasse. So kommt ein australischer Athlet eventuell auf 7-8 mg/g. Einer solchen Steigerung von mehr als 30% stehe ich sehr skeptisch gegenüber und selbst wenn sie erreicht würde könnte man auch nicht von einer sensationellen evolutionären Entwicklung sprechen, die das Apnoetauchen revolutionieren würde.

Bei der Berechnung des O₂ Speichers wird dann gerne geflunkert, da man das gesamte Körpergewicht zur Berechnungsgrundlage nimmt. Wie schon mehrfach erwähnt ist Myoglobin jedoch nur in der quergestreiften Muskulatur vorhanden.

Man geht bei untrainierten, normalgewichtigen Menschen davon aus, dass bei Männern rund 42% und bei Frauen etwa 36% des Körpergewichtes Muskelmasse sind. Hier haben wir also schon wieder die Problematik der Individualität. Wer kennt schon seine Muskelmasse und die Haushaltswaagen mit Fettanteilanzeige als Quellwert kann man gleich vergessen.

Bei dem Rechenbeispiel verwende ich also die Normalwerte zur Veranschaulichung.

Frau: $60 \text{ Kg} * 0,36 \hat{=} 21,6 \text{ Kg Muskelmasse} * 8 \text{ ml/Kg} = 172,8 \text{ ml O}_2$

Mann $75 \text{ Kg} * 0,42 \hat{=} 31,5 \text{ Kg Muskelmasse} * 8 \text{ ml/Kg} = 252 \text{ ml O}_2$

Würde eine Steigerung des Myoglobingehaltes um $\frac{1}{3}$ möglich sein, also auf 8 mg/g was einer Bindungskapazität von 10,6 ml/Kg bedeutet, dann stünde nach dem obigen Rechenbeispiel 229 ml bzw. 334 ml O₂ zur Verfügung.

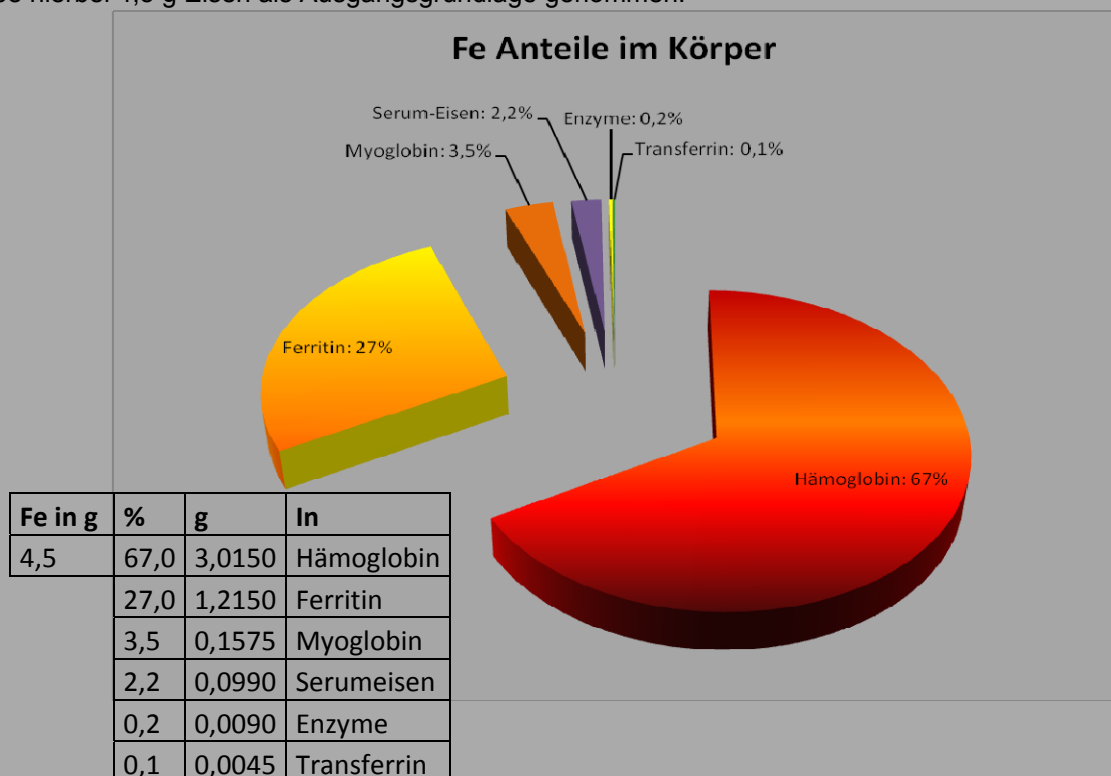
In Ruhe, also ohne Körperliche Belastung verbraucht ein Mensch schon 300 ml/min, wenn man dies zugrunde legt hält ein solcher Myoglobingehalt (Normalwerte) rund 35 sec oder 50 sec. Bezieht man nun noch ein, das selbst unter Anoxie lediglich 50% des O₂ durch das Myoglobin freigegeben werden, sind wir noch bei 17,5 sec oder 25 sec. Jetzt noch die Belastung und es wird ersichtlich das die Funktion des Myoglobin als O₂ Speicher recht unzureichend erscheint, wenn wie im Apnoetauchsport kein O₂ von außen mehr zugeführt wird.

Da die Bindung von Sauerstoff durch das Häm und somit durch Eisen (Fe II) erfolgt, mache ich an dieser Stelle einen kurzen Abstecher zum Eisen.

Der Mensch verfügt über etwa 4-5 g Eisen im Körper, welches in verschiedenen Bindungen seinen Aufgaben nachkommt. Der Anteil im Blut ist vom Alter und Geschlecht abhängig. Um eine Gewichtung des Fe Anteiles, insbesondere bei der Sauerstoffverwertung, vornehmen zu können ist es hilfreich die prozentualen Verhältnisse zu kennen, denn ohne Eisen ist es um die Sauerstoffversorgung schlecht bestellt.

Auch aus dieser Konstellation ist erkennbar, das Myoglobin nie eine Speicherkapazität erreichen könnte um die Versorgung des Körpers mit Sauerstoff über selbst einen sehr kurzen Zeitraum zu gewährleisten.






Ich habe hierbei 4,5 g Eisen als Ausgangsgrundlage genommen.



Da einige Zeitgenossen gerne die tauchenden Säugetiere als Vergleichsmöglichkeit heranziehen, kann man hier einige Werte miteinander vergleichen und sich seine eigenen Schlüsse ziehen. Der Speicherwert der Muskeln beruht auf dem Myoglobin.

Mir ist bewusst, dass in der Tabelle zwei Positionen mit Lebewesen besetzt sind auf die der Begriff tauchende Säugetiere nicht zutrifft.

Der Königspinguin ist ein tauchender Vogel, der wie wir Menschen ein feststehendes Brustbein hat und in Tiefen von fast 600 m vordringen kann. Allein die Tatsache des feststehenden Brustbeines macht den Pinguin für mich interessant um zu sehen, wie diese Spezies dieses Problem handhabt.

		Blut ml/Kg	Lunge O ₂ in%	Blut O ₂ in %	Muskel O ₂ in %
Mensch		20	57	30	13
Kalifornischer Seelöwe		40	21	45	34
Bottlenose Delfin		36	34	27	39
Königspinguin		55	19	34	47
Weddelrobbe		87	5	66	29

Anmerkungen:

Wie für alle Laborwerte gilt, dass aus isolierten, **leichten** Erhöhungen oder Erniedrigungen von Laborwerten man in den wenigsten Fällen eine Schlussfolgerung auf irgendeine Erkrankung oder Trainingszustand ziehen kann. Bei nur leichten Abweichungen von den Normwerten, muss keinesfalls irgendeine der nachfolgend genannten Erkrankungen oder Veränderungen vorliegen!

Man kann derzeit noch nicht bestimmen ob das Myoglobin aus der Skelettmuskulatur oder dem Herzmuskel stammt. Dies ist bei der Diagnose von Herzinfarkten ein Aspekt, der berücksichtigt werden muss.

Damit man sich in etwa ein Bild davon machen kann wie es zu erhöhten Myoglobinwerten im Blut kommen kann, habe ich hier die häufigsten Möglichkeiten aufgelistet.

Wann wird Myoglobin freigesetzt?

1. bei Herzmuskelschädigungen

- Herzinfarkt (Gipfel meist zwischen 600 und 1000 µg/l)
- manche Fälle von instabiler Angina pectoris (Herzenge) zeigen geringe Anstiege
- Herzmuskelentzündung (Myokarditis)
- Kardiomyopathie (Herzmuskelerkrankungen verschiedener Ursache)
- Herzquetschung (Herzkontusion) durch Verletzungen
- Operationen am Herzen

Bei den letzten beiden Punkten wird natürlich in den meisten Fällen auch eine Schädigung der Skelettmuskulatur zum erhöhten Myoglobin beitragen.

2. bei Schädigung der Skelett-Muskulatur

- a) akute (=kurzdauernde, heftige) Muskelerkrankungen
 - Verletzungen, Verbrennungen, Stromunfälle
 - Operationen
 - Injektionen, die Injektion und auch das verabreichte Medikament kann den Muskel schädigen
 - Training, körperliche Aktivität am Belastungslimit
 - Plötzliche Blutunterversorgung des Muskels zum Beispiel durch Gefäßverstopfungen
 - Krämpfe, Hustenanfälle, Delirium tremens, Schüttellähmung (M.Parkinson), andauernde Asthmaanfälle
 - Verschiedene Vergiftungen durch Chemikalien, Drogen oder Medikamente
 - Entzündungen der Muskulatur
 - Infektionen durch Viren, Bakterien, Parasiten
- b) chronische (=langfristige) Muskelerkrankungen
 - Erbliche Muskelerkrankungen (z.B. Duchenne-Typ, Becker-Typ u.a.)
 - Autoimmunerkrankungen der Muskulatur (Polymyositis, Dermatomyositis)
 - Durch andere Erkrankungen verursachte Muskelschäden:
 - Bei Über- oder Unterfunktion der Schilddrüsen
 - Kaliummangel
 - Phosphatmangel
 - Vergiftungen
 - Krampfleiden, Lähmungen, Multipler Sklerose, Sarkoidose
 - Medikamente
 - Herzrhythmusmedikamente, Betablocker, Lipidsenker u.a.
 - Alkoholismus

Fazit

Myoglobin hat gegenüber dem Hämoglobin den Vorteil der höheren Affinität und der Unabhängigkeit vom Partialdruck.

Dem gegenüber steht die örtliche Begrenzung des Sauerstoffes durch das regionale Binden. Der Sauerstoff kann nicht in Körperregionen verbracht werden, in denen er benötigt wird. Die sehr feste Bindung des O₂ und die verhältnismäßig geringe Freigabekapazität von 50%.

Eine stationäre Reserve in einem Körperbereich ist nicht sinnvoll. Es muss gewährleistet sein, dass der Sauerstoff in die Körperregionen verbracht werden kann, wo er in einer bestimmten Situation benötigt wird. Das Blut erfüllt diese Kriterien, wenn man also eine Möglichkeit zur Optimierung der O₂ Kapazität sucht, dann sollte man darauf achten dass der Hämatokritwert optimal gestaltet wird und andere Blutwerte, die für den O₂ Transport kontraproduktiv sind, reduziert werden.

Überwacht jemand permanent sein Blutbild und stellt dabei fest, dass seine MB Werte ständig zu hoch sind, so ist dies entweder ein Anzeichen für eine Erkrankung oder wenn man viel trainiert, dass der Trainingsplan zu fordernd ist.

Es ist zwar immer wieder nett solche Vergleiche auf ihre Gemeinsamkeiten gegenüberzustellen, aber hier wird lediglich ein Wert als Möglichkeit herangezogen um eine evolutionäre Entwicklung die über tausende von Jahren in Anspruch genommen hat, innerhalb einer Generation durch nicht genau aufgeführte Trainingsmethoden als reversibel darzustellen. So funktioniert das eben nicht.

Die tauchenden Säugetiere haben ein komplett anderes biologisches Design als der Mensch und wenn ich bezüglich der Tauchfähigkeit Vergleiche anstellen will, muss das vollständige Design betrachtet werden, nicht nur einzelne Punkte oder gar nur ein einziger Aspekt.

Dass es eine spezielle Trainingsmöglichkeit zur gezielten Steigerung des Myoglobins gibt, schließe ich aus. Selbst wenn es sie gäbe, stellt sich für mich die Frage wie sinnvoll eine solche Steigerung wäre. Was nutzt mir eine Sauerstoffreserve im Muskel, wenn das Gehirn unterversorgt wird und es zu einem Ausfall kommt?

Das Argument "aber bei den Tauchenden Säugetieren funktioniert es ja auch", lasse ich nicht gelten, da wie schon gesagt diese Tiere auf ein permanentes Leben im Wasser ausgerichtet sind und sie durch eine komplett anders verlaufene Evolution diese Ressourcen auch entsprechend nutzen können.

Nur weil ein Vogel und ich Luft atmen, muss ich nicht fliegen können.

Man muss für eine funktionierende Sache, auch nicht unbedingt immer die entsprechend allumfassende Erklärung dazu parat haben.

Quellen:

- **Hafner G, Marx M, Müller C, Klein G.**
Evaluation of a homogenous immunoassay on BM/Hitachi analyzers for the determination of myoglobin.
Clin Chem 1996; 42: 165