Zeitschrift: Physiotherapeut : Zeitschrift des Schweizerischen Physiotherapeutenverbandes = Physiothérapeute : bulletin de la Fédération Suisse des Physiothérapeutes = Fisioterapista : bollettino della Federazione Svizzera dei Fisioterapisti

Herausgeber: Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband

Band: - (1975)

Heft: 264

Artikel: Biologische Grundlagen der physischen Leistung

Autor: Jenoure, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-930643

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der Physiotherapeut
Le Physiothérapeute

Nr. 264 Oktober 1975

Zeitschrift des Schweizerischen Verbandes staatlich anerkannter Physiotherapeuten
Bulletin de la Fédération Suisse des Physiothérapeutes
Erscheint 2monatlich

Forschungsinstitut der Eidgenössischen Turn- und Sporthochschule Macolin
(Direktion: Dr. med. H. Howald)

Biologische Grundlagen der physischen Leistung

P. Jenoure

Wer physische Leistung meint, meint Bewegung und wenn man an Bewegung denkt, denkt man meistens auch sofort an die Muskulatur, Urheber dieser Bewegung. Wir werden also im Hinblick auf die Muskulatur versuchen, in dieser kurzen Abhandlung die biologischen Grundlagen der Bewegung und der physischen Leistung zu entdecken.

Bevor wir uns mit den Vorgängen der Muskelfunktionen bei körperlichen Anstrengungen befassen, erlauben Sie mir, kurz auf die Struktur, Physiologie und elementare Biochemie des Skelettmuskels einzugehen. Untersucht man einen Muskel unter dem Lichtmikroskop, bemerkt man immer eine Unterteilung dieses Muskels in eine Vielzahl von Muskelfasern. Eine einzelne Muskelfaser ist in der Tat die eigentliche Muskelzelle. Diese Zelle kann mehrere Zentimeter lang sein und kann mehrere Kerne enthalten, die entlang der Zellmembrane aufgereiht sind.

Mit dem gleichen Lichtmikroskop kann man noch eine zusätzliche Besonderheit des Skelettmuskels sehen: eine transversale, sehr charakteristische Streifung. Der Grund dieser transversalen Streifung kann nur mit dem Elektronenmikroskop, das noch weit höhere Vergrösserungen zulässt, erklärt werden.

Durch ca. 20 000-fache Vergrösserung lassen sich im Innern der Muskelzelle fadenförmige Strukturen unterscheiden, die man als Fibrillen bezeichnet. Diese Fibrillen bestehen aus zwei speziellen Proteinen: Aktin und Myosin. Diese beiden Moleküle finden sich nur in der Muskelzelle. Das Polymer des Aktinmoleküls erscheint als «Fäden», die mit den etwas dickeren Myosinfäden verschachtelt sind.

Diese Struktur wiederholt sich in «Abschnitten» von ca. 2—3 tausendstel mm Länge durch die ganze Muskelfaser. Diese Abschnitte bezeichnet man als Sarkomeren.

Bei der Muskelkontraktion, wobei der Muskel sich aktiv verkürzt, bildet sich eine kurze chemische Bindung zwischen Aktin- und Myosinfäden. Es ergibt sich daraus eine Verschiebung des Aktinmoleküls gegenüber dem Myosinmolekül. Die Wände der «Muskelabschnitte», der Sarkomeren, nähern sich einander. Die Sarkomen verkürzen sich. Durch Summierung ergibt sich als Gesamtresultat dieses Prozesses eine Verkürzung der gesamten Muskelfaser.

Ein anderes, anatomisch wichtiges Merkmal ist ein intrazellulärer Bestandteil, die Mitochondrien. Sie umgeben die Myofibrillen, und ohne in Details zu gehen, kann man ihre Aufgabe als chemische Fabrik bezeichnen. Ihre Wichtigkeit zeigt sich ganz besonders bei der Energiebefreiung.

Zwei Bedingungen sind unentbehrlich, damit die beschriebene Reaktion zwischen Aktin- und Myosinfäden stattfinden kann.

— die Muskelfibrillen müssen von einer ganz bestimmten Calziumionenkonzentration (Ca^{+2}) umgeben sein.

— als Energielieferant muss ATP vorhanden sein (ATP = Adenosintriphosphat.

Jede Kontraktion wird durch einen nervlich übermittelten elektrischen Impuls ausgelöst, der die Muskelzellmembrane durch ein Geflecht von feinsten Kanälchen passiert. Dieser elektrische Impuls bewirkt von den Kanälchen aus eine Befreiung von Calziumione in der Zellflüssigkeit, was im gleichen Moment eine Kontraktion auslöst. Sofort nach der nervlichen Stimulation werden die Calziumione wieder in die Kanälchen gepumpt, und der Muskel entspannt sich.

Das Adenosintriphosphat (ATP) ist eine chemische Substanz, die eine erhebliche Rolle bei den meisten vitalen Prozessen als Hauptenergielieferant spielt. Man kann dieses ATP mit einem Akkumulator vergleichen. Durch Abtrennung und Befreiung eines Phosphatmoleküls liefert dieser Akkumulator die nötige chemische Energie für die Reaktion zwischen Aktin und Myosin.

Der Akkumulator entlädt sich jedoch durch die Energielieferung, so wie ATP sich in ADP (Adenosindiphosphat) umwandelt. Alle Vorgänge der Muskelkontraktion hängen also von dem Vorhandensein dieses ATP ab. Sehen wir also, wie dieser Energielieferant sich ständig regeneriert, damit er mehrere Muskelkontraktionen hintereinander auslösen kann.

Das Problem der Energiebereitstellung liegt also immer in der ATP-Verfügung der Muskelzelle. Diese Bereitstellung kann anaerob vonstatten gehen, also ohne Sauerstoff von aussen her zu benötigen. Drei verschiedene Wege sind möglich:

In jeder Muskelzelle befindet sich ein kleiner Vorrat an Kreatinphosphat. Diese chemische Substanz kann ein Phosphatmolekül an das ADP abgeben, das sich so zu ATP regeneriert. Diese Substanz kann also den «Akkumulator» wieder aufladen.

Durch dieses Kreatinphosphat hat die Muskelzelle eine Reserve von max. ca. 30 sec. Arbeit. Danach ist auch dieser Vorrat aufgebraucht.

Eine zusätzliche Energiereserve befindet sich in jedem Muskel als Olykogen, eine Art tierischer Stärke. Es kann schnellstens in Glukose umgewandelt werden. Danach durchschreitet es eine Reihe chemischer Reaktionen, die mit Pyonvat enden.

Der letzte Abbauschritt ist schliesslich die Umwandlung in Milchsäure. Diese Umwandlung setzt Energie frei, die wiederum zur Schaffung von ATP aus ADP und Phosphat dient.

Der Glukoseabbau zu Milchsäure kann also Energie zur Muskelkontraktion liefern. Dieser Prozess ist allerdings recht unwirtschaftlich, denn jedes Glukosemolekül kann nur zur Schaffung zweier ATP Moleküle dienen.

Durch diese anaerobe Glykose kann die Muskelzelle jedoch noch Arbeit leisten, ohne Sauerstoff oder Nahrung von aussen her zu benötigen. Diese Art des Energieverbrauchs erreichte ein Maximum nach 50 bis 60 Sekunden und ist nach einer max. Dauer von 2 Min. aufgebraucht. Danach kann die ATP Schaffung nicht mehr ausschliesslich durch diesen Weg vollbracht werden.

Die Arbeit stoppt, denn die Anhäufung der Milchsäure hat als Hauptnachteil eine Ansäuerung zuerst des Zellinhaltes, danach des ganzen Organismus, da Milchsäure aus den Zellen in das Blut diffudiert. Diese Ansäuerung ruft Muskelschmerzen und Kräftenachlass hervor, was sich hauptsächlich in unangenehmen Symptomen wie Kopfschmerzen und Atemnot äussert.

Wir haben die Fibrillen und den Kern als wichtigste Bestandteile der Muskelzelle beschrieben. Die Zelle enthält jedoch nicht nur das. Es befinden sich in ihr noch die äusserst wichtigen *Mitochondrien.* Sie sehen aus wie Stäbchen oder winzige Kugeln. Ihre Aufgabe lässt sich am besten mit der eines Elektrizitätswerkes vergleichen, in Gang gehalten durch chemische Reaktionen. Sie wandeln ihre «Nahrung» von aktiver Essigsäure nun in Kohlenstoffdioxyd (CO^2) und Wasserstoffionen (H^+).

Die chemische Reaktionskette, die diesen Umwandlungen zu Grunde liegt, wird als Krebszyklus bezeichnet. Die Grundsubstanz, aktivierte Essigsäure, stammt aus dem Glukoseabbau oder der Oxydation freier Fettsäuren (FFA). Diese beiden Substanzen gelangen durch das Blut in den Muskel. Die Glukose stammt aus der Glykogenreserve der Leber und die freien Fettsäuren aus den unter der Haut gelegenen und anderen Fettdepots.

In den Mitochondrien spielen sich auch jene Prozesse ab, die unter dem Namen «Atmungskette» zusammengefasst sind. Ihre Aufgabe besteht darin, die im Krebszyklus entstandenen Wasserstoffionen mit dem Sauerstoff aus dem Blut zu verbinden. Diese als «Knallgas» gut bekannte Reaktion schafft Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff und gibt zusätzlich beträchtliche Energiemengen ab. Diese Energie kann zur Herstellung von ATP aus ADP und Phosphat benutzt werden. So steht wiederum eine neue Energiequelle zur Muskelkontraktion zur Verfügung.

Die Energiebilanz dieser oxydierenden oder aeroben Reaktion ist sehr viel günstiger als diejenige der anaeroben Glykolyse, denn der Abbau eines Glykosemoleküles durch Sauerstoff erlaubt die «Aufladung» von 38 ATP Molekülen. Durch den Fettabbau kommt man sogar auf 130 ATP Moleküle pro Fettsäuremolekül.

Die Energiegewinnung durch Oxydation ist solange möglich wie auf der einen Seite Sauerstoff und auf der anderen Glukose oder Fettsäuren zur Verfügung stehen.

So wie schon zu Beginn der Abhandlung gesagt wurde, ist die physische Leistung eng an die Muskelarbeit gebunden, die wiederum von den metabolischen Prozessen der Energiegewinnung für die Kontraktionsarbeit der Muskelfasern abhängt. Diese gegenseitige Abhängigkeit hat Auswirkungen auf den Gesamtorganismus, da einerseits die Muskulatur etwa 40% des Körpergewichtes ausmacht und andererseits der muskuläre Energieverbrauch vom Ruhe- in den Arbeitszustand ums Hundertfache ansteigt. Lassen Sie uns nun die Biochemischen Prozesse der Energiegewinnung im Hinblick auf die Dauer der vollbrachten physischen Leistung etwas genauer studieren.

Nehmen wir als Beispiel eine anhaltende aber kurze physische Anstrengung, die nicht länger als 10 Sekunden dauert. Durch seinen Gehalt an ATP (ca. 5 nmol/g und Kreatinphosphat (ca. 15 nmol/g) ist der menschliche Skelettmuskel in der Lage, sofort aus dem Ruhestand heraus, eine intensive Arbeit für einen kurzen Augenblick zu leisten. Der Energiebedarf eines Gewichthebers, eines Kugelstossers oder eines Hundertmeterläufers ist sehr erheblich, und die zellulären Vorräte sind nach ungefähr 10 Sekunden verbraucht. Trotz der Einsetzung erheblicher Muskelmassen sind aber die Auswirkungen auf den Metabolismus im allgemeinen recht bescheiden. Ein regelmässiges Leistungstraining von kurzer Dauer bewirkt in erster Linie eine Vermehrung der speziellen Proteine Aktin und Myosin. Die ATP und Kreatinphosphatvorräte verändern sich nur minimal, aber trotzdem messbar.

Sehen wir nun, was bei einer Verlängerung der Anspannung geschieht.

Nach Verbrauch der intrazellulären ATP- und Kreatinphosphatvorräte spielt sich die Energiegewinnung bei 2—3 Minuten lang anhaltenden physischen Leistungen hauptsächlich durch die anaerobe Glykolyse ab, wie man es zum Beispiel bei 400—800 m Läufern antrifft. Diese Art körperliche Leistung bewirkt vor allem eine Vermehrung des Glykogen, Speicherform der Kohlenhydrate, in der Muskelzelle und gleichzeitig eine erhöhte Aktivität des enzymatischen Systems, das diese anaerobe Glykolyse steuert.

Milchsäure als Endprodukt der anaeroben Glykose findet man nach einer intensiven Anstrengung in erhöhtem Masse sowohl in der Muskulatur als auch im Blutkreislauf. Diese Erhöhung kann den Blutph-Wert empfindlich senken, und es sind sogar Fälle beschrieben mit einem ph-Wert von 6,8 im arteriellen Blut. Diese extreme Azidose bewirkt einen vollkommenen Stop der Glykose durch Blockierung der entsprechenden Enzyme, so dass sie weder durch die üblichen Blutpuffersysteme noch durch die Atmung (Hyperventilation) kompensiert werden kann. So ist diese Ansäuerung, wie schon oben beschrieben, der Grund für «Muskelkrämpfe», Kopfschmerzen, Brechreiz und Dyspnoe.

Während einer einzigen Anstrengung in dieser Art der Leistungsproduktion nimmt man an, dass gerade die Azidose und ihre Folgen zu dem Stop führen. Bei anderen physischen Leistungen wie z. B. ein Intervalltraining oder ein Fussballspiel, die immer wieder Erholungspausen zulassen, erschöpfen sich wahrscheinlich die intrazellu-

lären Glykogendepots. Durch das Training gewöhnen sich zuerst die Muskelzellen, danach der ganze Organismus an die erhöhten Milchsäurekonzentrationen, was man in der Physiologie des körperlichen Trainings als Erhöhung der örtlichen und allgemeinen Resistenz bezeichnet.

Während der Erholungspause normalisiert sich die Azidose innerhalb von 30—60 Minuten. Milchsäure diffundiert sehr leicht aus den Muskelzellen und wird von der Leber dem Myokard und nach neuesten Erkenntnissen auch von der Muskelzelle selbst metabolisiert. Man hat festgestellt, dass die Normalisierung des Metabolismus durch leichte bis mittelschwere physische Arbeit schneller vonstatten geht.

Zum Schluss wollen wir uns noch mit körperlichen Anstrengungen, die mehr als 2—3 Minuten dauern, befassen. In diesem Fall wird das zur Muskelarbeit nötige ATP hauptsächlich durch Oxydationen gewonnen. Es muss aber troztdem der Uebergang der anaeroben Glykolyse berücksichtigt werden, denn schon bei Anstrengungen von ca. 1 Minute macht die oxydative Glykolyse etwa 50% aus, und erst nach ca. 10 Minuten ist die anaerobe Glykolyse gänzlich verschwunden. Kohlenhydrate und freie Fettsäuren liefern in erster Linie die durch Oxydation gewonnene Energie, Proteine spielen dagegen nur eine untergeordnete Rolle. Es sei noch einmal wiederholt, dass diese chemische Reaktionskette Krebszyklus genannt wird. Die Kohlenhydrate und Fettsäuren befinden sich in der Muskelzelle in Form von Glykogen- und Triglyzeridtröpfchen, können aber ebenfalls aus den Glykosendepots der Leber und des Fettgewebes mobilisiert werden.

Durch ein regelmässiges und genügend intensives und langes Training werden die Ultrastrukturzellen und biochemischen Adaptationsvorgänge des Muskels angeregt. Die in unserem Institut durchgeführte Onadrizepspunktion eines durchtrainierten Sportlers zeigte folgenden Befund:

— Volumenerhöhung der Mitochondrien
— Volumenerhöhung der intrazellulären Lipidtröpfchen
— Aktivitätsvermehrung des in den Mitochondrien enthaltene Enzymsystems des Krebszyklus und der Atmungskette.

Im Unterschied zur untrainierten Muskelzelle wird somit durch diese Transformationen die Möglichkeit für die trainierte Zelle geschaffen, mehr Glucose, Fettsäuren und Sauerstoff umzuwandeln und zu gebrauchen (lokale Ausdauer).

Die Verbesserung der Sauerstoffabsorptionskapazität der Langstreckenathleten beruht also nicht, wie man bisher dachte, nur auf einer Verbesserung des Sauerstoffbluttransportes und insbesondere des Herz-Minutenvolumens, sondern vielmehr auf einer verbesserten Oxydationskapazität der Muskelzelle. Die Verbesserung des Sauerstofftransportes existiert dagegen ebenfalls, so wie eine Hämoglobinvermehrung, eine Herzvolumenerhöhung und eine bessere Blutverteilung im Muskel festzustellen ist. Alle diese Adaptationsvorgänge können im Laboratorium gemessen werden, insbesondere durch Bestimmung der maximalen Sauerstoffkapazität. Man misst somit die allgemeine Ausdauer.

Neben den positiven Adaptationsmessungen des oxydativen Zellmetabolismus, scheint es uns interessant, auch die durch Training bedingten Veränderungen des intrazellulären Lipidmetabolismus festzustellen. Nach den Forschungen unseres Institutes stehen im Gegensatz zur normalen Muskelzelle einer trainierten Zelle mehr Triglyceride zur Verfügung, die durch Verbesserung des Enzymsystem auch optimal genutzt werden. Dadurch erreicht die Zelle eine maximale Einsparung ihrer eigenen sowie der Leber-Glykogenreserven, die zur Aufrechterhaltung einer normalen Glykämie benötigt werden. Dieser Punkt ist äusserst wichtig, denn nach einer skandinavischen Untersuchung wird die Ausdauerkapazität des Organismus direkt durch den Gehalt an muskulären Glykogenreserven, die nach einer anstrengenden Leistung fast vollständig erschöpft sind, beeinflusst. Durch diese neue Erkenntnis konnte eine spezielle Wettkampfvorbereitungsdiät entwickelt werden, die durch eine angepasste Nahrung den Glykogengehalt der Muskelzelle entschieden verbessert.

Zum Schluss sollte noch an die positiven und gut bekannten Auswirkungen der physischen Anstrengung auf die Fettkonzentration des Blutes erinnert werden. Diese Aus-

wirkungen stehen in direktem Verhältnis zu allen beschriebenen Muskelzelladaptationen.

Zusammenfassend kann man mit der Feststellung schliessen, dass durch die immer mehr umfassenden Kenntnisse der sich in der Muskelzelle abspielenden Phänomene auf dem Gebiete der optimalen Leistung besonders angepasste Trainings- und Ernährungsmöglichkeiten anbieten. Diese Erkenntnisse spielen eine kapitale Rolle in der äusserst wichtigen Präventivmedizin, und es sei nur an die Wichtigkeit der Bewegung und Ernährung in der Herz-Kreislaufpathologie erinnert.

Klinischer Sport in der Rehabilitation

von Paul Saurer, Chefphysiotherapeut des Rehabilitationszentrums Bellikon

Sport für Behinderte ist sicher schon lange bekannt und gilt als unumstrittener Heilfaktor. Dabei möchte ich heute nicht vom allgemeinen Invalidensport, d. h. von einem Gruppenturnen mit einem gemischten Patientengut das eher in einer spielerischen Form durchgeführt wird, und sicher auch seine Wirkung hat, sprechen, sondern von einem gezielten *Leistungssport* für Invalide, dabei gehe ich hauptsächlich auf die Querschnittsgelähmten ein.

Genau wie der Gesunde seine Leistungen, sei es die Atmung, den Kreislauf oder die Muskulatur, verbessern kann, so kann auch der Behinderte seinen Allgemeinzustand verbessern.

Vor dem 2. Weltkrieg hatten Querschnittsgelähmte eine Lebenserwartung von 2—4 Monaten. Sie starben meistens an Niereninfektionen oder an Dekubitalgeschwüren. —

Noch in den Jahren 1945—1950 betrug die Lebenserwartung nach dem Unfall 4—6 Jahre. Heute ist die Lebenserwartung eines Querschnittsgelähmten normal, d. h. sogar etwas höher als die eines Arztes.

Wie kam es zu dieser gewaltigen Verbesserung? Sicher hat die Medizin in den letzten Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht, die dem Querschnittsgelähmten in mancher Hinsicht zugute kommen. Aber dass er gesund bleibt, nicht an Kräften verliert, ja sogar seine Leistung steigert, ist nur durch Turnen und Sport möglich.

Hr. Prof. Dr. Ludwig Gutmann in Stoke Mandeville hat als erster bewiesen, dass zur vollen physischen Rehabilitation Sport, ja sogar Leistungssport gehört. Vor 26 Jahren wurden in Stoke Mandeville die ersten nationalen und vor 22 Jahren die ersten internationalen Stoke Mandeville Games durchgeführt. Diese Weltspiele der Gelähmten sind in die Geschichte eingegangen und es nehmen jährlich bis zu 40 Nationen und gegen 1000 Wettkämpfer daran teil.

Als erstes Gesetz der ISMG gilt die Freundschaft, dann die Gemeinschaft unter den Nationen, und an dritter Stelle der Sport, und dies ohne politische oder religiöse Schranken.

Ich muss allerdings erwähnen, dass diese Sportarten bereits in den Kliniken eingeführt, und als Therapie angewandt werden sollten. Der Patient soll mit letzterem so vertraut sein, dass er nach Austritt aus der Klinik selbständig und ohne Aufsicht weiter Sport treibt.

An der 1. schweizerischen Rollstuhlmeisterschaft wurden einige Aktive nach der Motivation der sportlichen Betätigung befragt. Die Antworten lauteten:

— Ich betreibe Leistungssport, weil ich Freude daran habe und weil man immer viele alte und neue Freunde treffen kann. Ich möchte aber sagen, dass in meinem Leben zuerst der Beruf und dann der Sport kommt.