Zeitschrift: Magglingen : Monatszeitschrift der Eidgenössischen Sportschule Magglingen mit Jugend + Sport

Herausgeber: Eidgenössische Sportschule Magglingen

Band: 48 (1991)

Heft: 3

Artikel: Mikrophotometrische Bestimmung der Succinatdehydrogenase-Enzymaktivitätsänderung : in verschiedenen Muskelfaser-Typen des Menschen nach einem Intervalltraining

Autor: Zahner, Lukas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-992884

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: 15.07.2025

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

Mikrophotometrische Bestimmung der Succinatdehydrogenase-Enzymaktivitätsänderung

in verschiedenen Muskelfaser-Typen des Menschen nach einem Intervalltraining

Lukas Zahner

Die gleichnamige Diplomarbeit zur Erlangung des Eidgenössischen Turn- und Sportlehrerdiploms II und des Diploms Biologie I an der Universität Basel wurde im Preisausschreiben 1989 des Forschungsinstitutes der ESSM mit einem 1. Preis ausgezeichnet.

Sechs Sportstudenten und drei Sportstudentinnen der ESSM absolvierten ein sechswöchiges Intervalltrainingsprogramm (200-m-Läufe). Die physischen und physiologischen Auswirkungen der Trainingseinheiten auf die Muskulatur wurden am Forschungsinstitut der ESSM (Leistungsphysiologie), am Anatomischen Institut der Universität Bern (Elektronenmikroskopie) und an der Universität Konstanz (Biochemie) untersucht.

Bereits im letzten Jahrhundert hat der Muskel das Interesse vieler Forscher auf sich gezogen. Jedoch erst in den sechziger Jahren dieses Jahrhunderts gelang es, individuelle motorische Einheiten funktionell zu isolieren und zu untersuchen. Heute sind die wesentlichen Fragen hinsichtlich der funktionellen und strukturellen Differenzierung der Skelettmuskelfasern gelöst. Weitgehend offen ist dagegen immer noch der Grad ihrer funktionellen Adaptation. Es erstaunt doch, dass trotz der grossen Spezialisierung die Muskelfaser eine enorme Kapazität besitzt, sich einer veränderten Situation anzupassen. Dabei transformieren bestimmte Fasertypen und nehmen physiologische und biochemische Charakteristika an, wie sie dem anderen Fasertyp eigen sind.

Problemstellung

In der vorliegenden Arbeit haben wir uns die Aufgabe gestellt, trainingsbedingte Veränderungen im Körper des Menschen auf physiologischer, biochemischer und elektronenmikroskopischer Ebene darzustellen. Der Schwerpunkt der Arbeit lag beim Nachweis von Enzymaktivitätsänderungen, die mit Hilfe des Fotometer-Mikroskopes anhand von Muskelbiopsie-Schnittpräparaten untersucht werden konnten.

Wir sind auf folgende Fragestellungen eingegangen:

a) Wie verändern sich verschiedene physiologische Werte von Sportlern/-innen nach einem Intervalltraining?
b) Wie verändert sich die SDH[1]-Enzymaktivität in den einzelnen Muskelfasertypen (Typ I, IIA, IIB) nach einem Intervalltraining?
c) Welche Veränderungen in der Muskulatur können mit Hilfe der Elektronenmikroskopie nachgewiesen werden?

Zur Abklärung dieser Fragen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Die Probanden absolvierten zunächst einen Laufbandtest nach Kindermann (Test zur Eruierung der anaeroben Kapazität). Des weiteren wurden Gefrierschnittpräparate aus einer Biopsie des Musculus vastus lateralis vor und nach dem Intervalltrainingsprogramm enzymatisch ausgemessen und histochemisch typisiert. Zusätzlich wurden die Biopsien der Probanden am Anatomischen Institut der Universität Bern elektronenmikroskopisch ausgewertet.

Material und Methoden

Probanden

9 Sportstudenten/-innen des Studienlehrganges 1985/87 der ESSM stellten sich für die Untersuchungen zur Verfügung.

Trainingsprogramm

Trainingsdauer: 6 Wochen zu 3 Trainingseinheiten.

Trainingseinheit: 8 × 200-m-Lauf

Kontrolle der Herzfrequenz, der Laufzeiten und der Blutlaktatwerte.

Muskelbiopsien

Vor und nach der sechswöchigen Trainingsperiode entnahm PD Dr. H. Howald jedem Probanden eine Muskelbiopsie aus dem M. vastus lateralis.

Histochemie

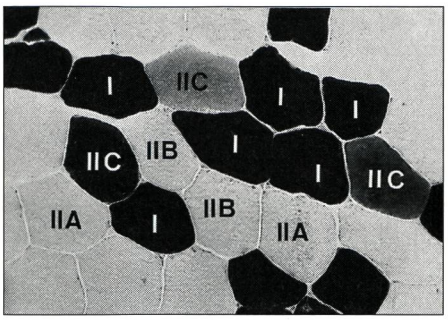
Folgende Untersuchungen konnten an der Universität Konstanz, bei Prof. Pette, durchgeführt werden.

- Kryostatschnitte (Ultradünnschnitte der Muskelbiopsien)
- ATPase-Färbungen (dienten der Differenzierung der Muskelfasertypen I, IIA, IIB, IIC; die Differenzierung erfolgte aufgrund der verschiedenen grau-schwarz Färbungen, bei den drei verschiedenen pH-Stufen).
- *Mikroskop-Fotometrie*
  Mit einem computergesteuerten Fotometer-Mikroskop wurden die SDH-Enzymaktivitäten der einzelnen Muskelfasertypen (I, IIA, IIB) quantifiziert. Die registrierten Extinktionsänderungen des gleichen Muskelfasertyps vor, beziehungsweise nach dem Trainingsprogramm wurden mittels Regressionsanalyse auf initiale, maximale Reaktionsgeschwindigkeit berechnet und konnten als relative Enzymaktivitäten direkt miteinander verglichen werden (identische Messbedingungen bezüglich Schnittdicke, Grösse des Messstrahls, Messtemperatur, Reaktionsmedium usw.).

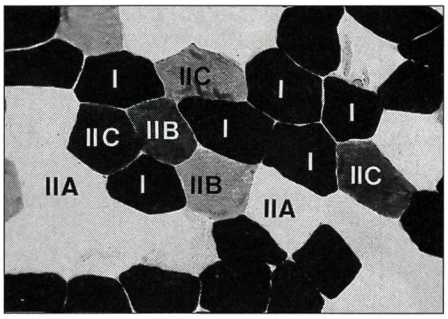
Elektronenmikroskopie

Die elektronenmikroskopische Auswertung der Muskelbiopsien erfolgte am Anatomischen Institut der Universität Bern durch Prof. Dr. H. Hoppeler.

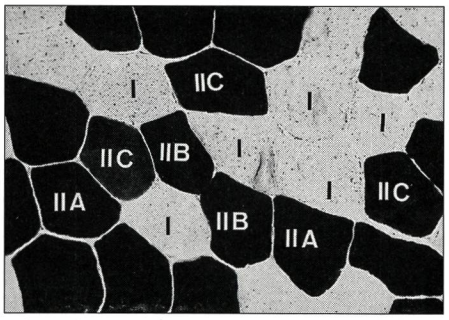
[1] SDH (Succinatdehydrogenase) ist ein mitochondrial gebundenes Flavoprotein. Funktion im Zitronensäurezyklus: Succinat wird durch SDH zu Fumarat oxidiert.



a



b



c

Abbildung 1: Musculus vastus lateralis eines untrainierten Mannes. ATPase-Färbung nach Vorinkubation bei pH 4,35 (a), pH 4,6 (b) und pH 10,8 (c).

EM-Vergrösserung von × 1500: Bestimmung von:

- Anzahl Kapillaren
- Anzahl Fasern
- Faserflächen

EM-Vergrösserung von × 24000: Bestimmung von:

- Mitochondrienvolumen
- Intrazelluläre Fettdepots
- Myofibrillen
- Sarkoplasma im Bezug zum Muskelfaservolumen

Resultate

Physiologischer Trainingseffekt

- *Laufbandtest*
  Im Test nach Kindermann verzeichneten alle Probanden und Probandinnen einen erheblichen Leistungszuwachs um durchschnittlich 21,5 Prozent (Herren) und 33,3 Prozent (Damen) (Verbesserung der anaeroben Kapazität).
- *Herzfrequenz im Laufbandtest*
  Als Ausdruck der verbesserten anaeroben Leistungsfähigkeit sank die nach 40 Sekunden Laufzeit gemessene Herzfrequenz bei den Herren nach dem Trainingsprogramm um 4,4 Prozent, bei den Damen um 2,1 Prozent.
- *Blutlaktat im Laufbandtest*
  In der Erholungsphase nach den ersten 40 Sekunden Belastung wurden bei beiden Geschlechtern sowohl in der 3. wie in der 5. Minute nach dem Trainingsprogramm niedrigere Laktatwerte ermittelt als vor Beginn des sechswöchigen Trainings. Wie die tiefere Herzfrequenz sind diese niedrigeren Laktatkonzentrationen im Blut direkter Ausdruck des verbesserten Trainingszustandes.
- Die Befunde der Laboruntersuchungen konnten mit den *Resultaten auf der 400-m-Rundbahn* bestätigt werden.
  - Tiefere Herzfrequenzwerte bei gleichen 200-m-Laufzeiten
  - Niedrigere Laktatwerte vor dem Start zum 5. Lauf
  - Bessere 200-m-Laufzeiten

  (Resultate beim Vergleich zwischen der 2. und 5. Trainingswoche.)

Biochemische Untersuchungen

- *SDH-Aktivitätsänderungen durch das Training in den Muskelfasern (Abb. 2)*

Bei den absoluten SDH-Aktivitäten ergab sich als Folge des Trainingsprozesses eine geringgradige, statistisch weder im Gesamtkollektiv noch bei den beiden Geschlechtern signifikante Zunahme. (Siehe Abbildung 2, «alle Fasern».)

- *Vergleich der absoluten SDH-Aktivitäten in den Fasertypen I, IIA und IIB.*
  Total wurden aus den vor dem Training entnommenen Biopsien 495 Muskelfasern histochemisch anhand der ATPase-Färbung differenziert und nach dem Training waren es total deren 507. Die Verteilung auf die einzelnen Fasertypen ergibt das Bild, wie es für den M. vastus lateralis des Menschen typisch ist: 58 Prozent und 55 Prozent Typ I, 25 Prozent und 26 Prozent Typ IIA sowie 17 Prozent und 19 Prozent Typ IIB vor, beziehungsweise nach dem Training. Eine Veränderung der prozentualen Verteilung ist also durch das Training nicht eingetreten und war auch nicht zu erwarten.
  Eine eindeutige Zunahme der SDH-Aktivitäten war nur in den Fasern des Typs IIA zu verzeichnen. Sie beträgt 23 Prozent für das Gesamtkollektiv, 31 Prozent bei den Damen und 19 Prozent bei den Herren (siehe Abbildung 2).
  Demzufolge kann angenommen werden, dass hauptsächlich dieser Fasertyp bei einem intensiven Intervalltraining aktiv ist.

Elektronenmikroskopische Veränderungen

- *Kapillarisierung*
  Sowohl bei den Herren wie bei den Damen ist durch das Training eine leichte Verminderung der Anzahl Kapillaren pro Muskelfaser und eine geringgradige Abnahme des Faserdurchmessers zu verzeichnen.
- *Ultrastruktur der Muskelfasern*
  Als Reaktion auf das intensive Trainingsprogramm ergeben sich Verschiebungen in der Feinstruktur der Muskelfasern. Die leichte Abnahme beziehungsweise Zunahme des Mitochondrienvolumens bei den Herren beziehungsweise den Damen ist statistisch nicht signifikant.
  Statistisch signifikant hingegen ist die Zunahme des Fibrillenvolumens sowie die Abnahme des relativen Volumenanteils für intrazelluläres Lipid und sarkoplasmatisches Reticulum inklusiv Glycogen.

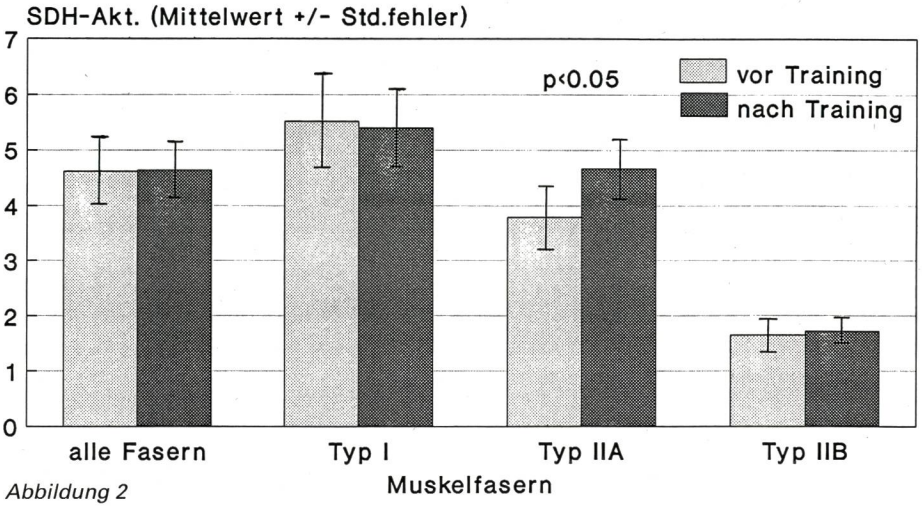


Abbildung 2

Diskussion

Physiologische Untersuchungen

Als Testform zur Eruierung der anaeroben Leistungskapazität der Probanden wurde der Laufbandtest nach Kindermann gewählt. Dieser Test hat sich bewährt, und er spricht auch in dieser Studie eine deutliche Sprache.

Die mit dem Test erhobenen Daten deuten darauf hin, dass mit einem optimalen Trainingsprogramm in der kurzen Zeit von 6 Wochen die anaerobe Leistungsfähigkeit stark verbessert werden kann.

Biochemische Untersuchungen

Da es sich bei der SDH um ein mitochondrial gebundenes Flavoprotein handelt, das vor allem bei aerober Muskelarbeit in Funktion steht, erstaunt es nicht, dass die Typ-I- und Typ-IIB-Fasern bei dieser Art von anaerobem Training keine signifikanten Änderungen ihrer SDH-Aktivitäten zeigten. Die Dauer der Trainingseinheiten (8 × 200-m-Sprint) ist sicher zu kurz, um die aerobe Kapazität der Muskulatur zu entwickeln und die oxidativen mitochondrialen Enzyme zu forcieren.

Nach den Ergebnissen der Enzymaktivitätsänderungen zu deuten sind es die Typ-IIA-Fasern, die bei einem Intervalltraining beim Menschen zur Hauptsache in Funktion stehen. Die Typ-IIA-Faser zeigt als einzige eine signifikante Veränderung ihrer SDH-Aktivität.

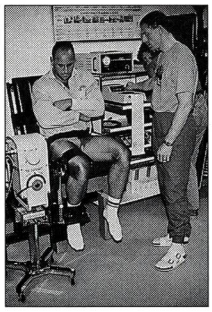
Elektronenmikroskopische Untersuchungen

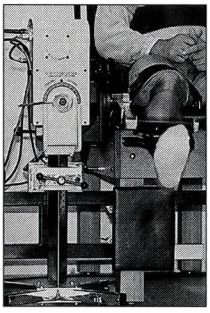
Die Ergebnisse aus der morphometrischen Quantifizierung des Mitochondrienvolumens stimmen gut mit denjenigen der SDH-Bestimmung überein. Zunahmen oder Abnahmen der Mitochondrien müssten mit entsprechenden Veränderungen der SDH-Aktivität verbunden sein, weil dieses Enzym an die Mitochondrien gebunden ist. Die elektronenmikroskopische Auswertung umfasst die Gesamtheit aller Muskelfasern und kann somit nur mit den unabhängig vom Fasertyp ermittelten SDH-Aktivitäten verglichen werden.

Während den geringfügigen Veränderungen bezüglich Kapillarisierung und Faserdurchmesser wohl keine grosse Bedeutung zukommt, weisen die signifikanten Abnahmen von intrazellulärem Lipid und Sarkoplasma auf Anpassungen im Zellstoffwechsel der Muskelfasern hin, die auf die intensiven Belastungen zurückzuführen sein dürften.

Literaturverzeichnis

Appelt D., *Buhl* H., *Häcker* R.: Anpassungen im Enzymprofil des Muskels als Reaktion auf verschiedene Belastungen.
Med. u. Sport 22 H2/3: 52–56, 1982.
Baumann H.: Biochemische und strukturelle Veränderungen in menschlichen Skelettmuskelfasern als Antwort auf verschiedene Trainingsformen.
Inaugural-Dissertation, Basel, 1984.
Bergström J.: Percutaneous needle biopsy of skeletal muscle for physiological and clinical research.
Scand J Clin Lab Invest 35: 609–616, 1975.
Brooke M.H. und *Kaiser* K.K.: Three «Myosin ATPase» systems: The nature of their pH lability and sulfhydryl dependence.
J. Histochem. Cytochem. 18: 670–672, 1970.
Henriksson J., *Reitmann* J.S.: Quantitative Measures of Enzyme Activities in Type I and Type II Muscle Fibres of Man after Training.
Acta physiol. scand. 97: 392–397, 1976.
Hoppeler H., *Mathieu* O., *Krauer* R., *Claassen* H., *Armstrong* R.B., *Weibel* E.R.: Design of the mammalian respiratory system. VI. Distribution of mitochondria and capillaries in various muscles.
Respir Physiol. 44: 87–111, 1981.
Hoppeler H., *Howald* H., *Conley* K., *Lindstedt* S., *Claassen* H., *Vock* P., *Weibel* E.: Endurance training in humans: aerobic capacity and structure of skeletal muscle.
J. Appl. Physiol. 59: 320–327, 1985.
Howald H.: Morphologische und funktionelle Veränderungen der Muskelfasern durch Training.
Schweiz. Ztschr. Sportmed. 31: 5–14, 1984.
Howald H., *Hoppeler* H., *Claassen* H., *Mathieu* O., *Straub* R.: Influence of endurance training on the ultrastructural composition of the different muscle fiber types in humans.
Pfluegers Arch. 403: 369–376, 1985.
Kindermann W.: Grundlagen der aeroben und anaeroben Leistungsdiagnostik.
Schweiz-Z-Sportmed 32: 69–74, 1984.
Nolte J., *Pette* D.: Microphotometric Determination of Enzyme Activity in Single Cells in Cryostate Sections.
J. Histochem. Cytochem. 20: 567–582, 1972.
Reichmann H., *Hoppeler* H., *Mathieu-Castello* O., *von Bergen* F., *Pette* D.: Biochemical and ultrastructural changes of skeletal muscle mitochondria after chronic electrical stimulation in rabbits.
Pflügers Arch 404: 1–9,1985.
Roberts A.D., *Billeter* R., *Howald* H.: Anaerobic Muscle Enzyme Changes After Interval Training.
Int. J. Sports Med. 3: 18–21, 1982.
Weineck J.: Optimales Training.
Perimed Fachbuch-Verlags-Gesellschaft, Erlangen 1985.
Weineck J.: Sportbiologie.
Perimed-Fachbuch-Verlags-Gesellschaft, Erlangen 1988.
Zumstein A., *Mathieu* O., *Howald* H., *Hoppeler* H.: Morphometric Analysis of the Capillary Supply in Skeletal Muscle of Trained and Untrained Subjects – Its Limitations in Muscle Biopsies.
Pflügers Arch. 397: 277–283, 1983. ■





KANTON URI

Auf das Schuljahr 1991/92 (Beginn 26. August 1991) ist an der Kantonalen Mittelschule Uri (Gymnasialabteilung, Handelsmittelschule, Lehrerseminar, Weiterbildungsschule) zu vergeben:

Lehrauftrag für Sport

(zirka 25 Lektionen)

Der Lehrauftrag kann in kleinere Pensen aufgeteilt werden (wünschbare Teilpensen ab mindestens 8 Lektionen).

Die Schule verfügt über moderne, gut ausgebaute Turn- und Sportanlagen. Die Anstellungs- und Besoldungsverhältnisse sind kantonal geregelt.

Bewerbungen sind zu richten bis spätestens Freitag, 15. März 1991, an das Rektorat der Kantonalen Mittelschule Uri, Gotthardstrasse 59, 6460 Altdorf (Tel. 044 2 22 42), wo auch weitere Informationen eingeholt werden können.