

Zeitschrift: Schweizer Archiv für Tierheilkunde SAT : die Fachzeitschrift für Tierärztinnen und Tierärzte = Archives Suisses de Médecine Vétérinaire ASMV : la revue professionnelle des vétérinaires

Herausgeber: Gesellschaft Schweizer Tierärztinnen und Tierärzte

Band: 117 (1975)

Heft: 8

Artikel: Ultrastrukturelle und enzymatische Untersuchungen an trainierten und untrainierten Pferdeskelettmuskeln

Autor: Straub, R. / Howald, H. / Gerber, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-592538>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

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

Aus der Klinik für Nutztiere und Pferde der Universität Bern
und dem Forschungsinstitut der Eidgenössischen Turn- und
Sportschule, Magglingen, Schweiz

Kurze Originalmitteilung

Ultrastrukturelle und enzymatische Untersuchungen an trainierten und untrainierten Pferdeskelettmuskeln

R. Straub, H. Howald, H. Gerber, M. Diehl und B. Pauli¹

Seit Jahrhunderten werden im Rennsport Trainingsmethoden modifiziert, um bessere Leistungen zu erzielen. Wenn wir die Verbesserung der Rennleistung beim Pferd mit Leistungsverbesserung im Sport beim Menschen vergleichen, so muss man feststellen, dass eine Leistungssteigerung auf seiten des Rennpferdes kaum, wenn überhaupt, vorhanden ist. Die Leistungssteigerung des Sportlers ist nicht zuletzt den stark verbesserten Trainingsmethoden zuzuschreiben und teilweise auch der Unterstützung durch die Sportmedizin und Leistungsphysiologie, die sich seit Jahrzehnten um eine objektive Ermittlung der trainingsbedingten Veränderungen im menschlichen Organismus bemühen. So wurde u.a. mit den Methoden der Spiroergometrie bewiesen, dass der sportliche Erfolg bei körperlicher Belastung von mehr als zwei Minuten Dauer in zunehmenden Masse von der maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität des Organismus abhängig ist (Howald) [5]. Diese wiederum ist die Folge einer erhöhten Transportkapazität durch Atmung, Herz und Kreislauf und einer erhöhten Oxydationskapazität im arbeitenden Skelettmuskel. Durch Training veränderte Stoffwechselleistungen der Muskelzelle resultieren in einer prozentualen Veränderung der Anteile seiner Zellstruktur. Gollnick [2] und Kraus [7] haben 1969 über eine Zunahme von Zahl und Grösse der Mitochondrien im Skelettmuskel der trainierten Ratte berichtet, Kissling [6] und Morgan [8] bestätigten 1971 diese Veränderungen für den trainierten Skelettmuskel des Menschen. Bei der trainierten Ratte konnte Holloszy [3] 1967 erhöhte Aktivitäten von Enzymen des Citratzyklus, des Transportes und der Oxydation von freien Fettsäuren sowie der Atemkette nachweisen. Diese Aktivitätserhöhungen wurden auch im trainierten menschlichen Muskel nachgewiesen (Moesch) [9]. Mit Hilfe der stereologischen Morphometrie, die weitgehend in den letzten Jahren von Weibel [10] entwickelt worden ist, ist es uns möglich, die ultrastrukturellen Veränderungen exakt quantitativ zu erfassen und sie mit leistungsphysiologischen und biochemischen Untersuchungsmethoden in Zusammenhang zu bringen.

¹ Adresse der Autoren: Postfach 2735, CH-3001 Bern (Schweiz)

Auf Grund der am Skelettmuskel verschiedener Spezies gemachten Erfahrungen versuchten wir mit morphometrischen und enzymatischen Untersuchungen einer objektiven Beurteilung der Fitness beim Rennpferd etwas näher zu kommen.

Material und Methoden

Versuchspferde

In dieser Arbeit beschränkten wir uns auf die Untersuchung zweier Paare. Bei den beiden untrainierten Pferden handelte es sich um ein gutgezogenes irisches Springpferd und einen englischen Vollblüter (Rennpferd). Beide Pferde wurden seit mehr als 6 Monaten vor Versuchsbeginn nicht mehr trainiert, sondern lediglich täglich an der Hand geführt. Bei den beiden trainierten Pferden handelte es sich um zwei englische Vollblüter, die seit über 2 Jahren in regelmässigem Renntraining standen.

Elektronenmikroskopie

Die Muskelbiopsien wurden aus dem M.semitendineus, in der Mitte des Muskelbauches unter Lokalanästhesie mit der Nadeltechnik von Bergstrom [1] entnommen. Die trainierten Pferde wurden 24 Stunden vor der Biopsie nicht mehr bewegt. Mit jeder Biopsie entnahmen wir ca. 30 mg Muskelgewebe, welches sofort fixiert wurde. Für technische Details bezüglich Fixation und Zubereitung des Muskelgewebes für die Elektronenmikroskopie sei auf die Arbeit Hoppeler [4] verwiesen. Von jeder Biopsie wurden 4 Blöcke geschnitten, von denen je 16 Aufnahmen mit dem Philips EM 200 bei 25 000 facher Endvergrößerung hergestellt wurden. Die Morphometrie wurde nach Weibel [10] durchgeführt.

Enzymaktivitäten

Zur enzymatischen Untersuchung entnahmen wir an der gleichen Stelle des Muskels eine weitere Biopsie. Die Muskelproben wurden sofort in Paraffinfolie verpackt und in flüssigen Stickstoff verbracht, wo sie bis zur Weiterverarbeitung nicht länger als 2 Stunden belassen wurden.

Homogenisierung des Gewebes und Bestimmung der Aktivitäten von Glyceraldehyd-3 P-Dehydrogenase (EC 1.2.1.12), Malat-Dehydrogenase (EC 1.1.37), Succinat-Dehydrogenase (EC 1.3.99.1) und 3-Hydroxyacyl-CoA-Dehydrogenase (EC 1.1.1.35) wurden mit der für den menschlichen Skelettmuskel bewährten Technik vorgenommen (Moesch) [9].

Resultate

Morphometrie

Die Mittelwerte mit Standardabweichungen und die Signifikanz des Gruppenunterschiedes für die Volumenanteile der in der Skelettmuskelzelle des Pferdes in erster Linie interessierenden Ultrastrukturen sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. In den Muskelzellen unserer beiden trainierten Pferde war der Anteil interfibrillärer Mitochondrien im Vergleich mit den untrainierten Pferden hoch signifikant grösser ($p < 0,001$). Ebenso besteht ein hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) beim Quotient Mitochondrienvolumen/Myofibrillenvolumen. Dagegen bestand bei den genannten Parametern innerhalb der beiden Pferdepaare kein statistisch signifikanter Unterschied.

Tab. 1 Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichung (s) und Signifikanz von Volumenanteilen einzelner Ultrastrukturen im untrainierten (NT) und trainierten (T) M.semitendineus des Pferdes.

Volumenanteile	Anzahl EM-Bilder	NT		T		p <
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	
Myofibrillen		131,79	6,83	131,78	8,16	–
Mitochondrien (interfibrillär)		3,95	2,90	6,84	3,76	0,001
Cytoplasma	128	32,24	7,47	29,38	7,9	–
Lipidtropfen		0,015	0,124	0,023	0,151	–
Mitochondrien/Myofibrillen ($\cdot 10^{-2}$)		3,011	2,233	5,303	3,067	0,001

Enzymaktivitäten

Die Muskelenzymaktivitäten des M.semitendineus trainierter und untrainierter Pferde gehen aus der Tabelle 2 hervor. Am auffälligsten sind vor allem die Erhöhung der Malat-Dehydrogenase und Succinat-Dehydrogenase bei gut trainierten Vollblütern.

Tab. 2 Muskelenzymaktivitäten untrainierter (NT) und trainierter (T) Pferde (M.semitendineus).

Stoffwechselabschnitte	Enzyme	Aktivität ($\mu\text{g}/\text{min g Gewebe}$)	
		NT	T
Anaerobe Glycolyse	Glyceraldehydogenase	238	452
		259	496
Citratcyclus	Malat-Dehydrogenase	2,01	6,23
		2,99	7,04
Citratcyclus	Succinat-Dehydrogenase	7,20	14,64
		9,54	10,52
β -Oxydation von freien Fettsäuren	3-Hydroxyacyl-CoA-Dehydrogenase	878	376
		530	455

Diskussion

Wir wählten für die Biopsien den M.semitendineus wegen seiner leichten Zugänglichkeit für die Biopsie bei stehendem Pferd und wegen seines funktionellen Beitrages zur Fortbewegung des Tieres. Komplikationen wie Hämatome, Infektionen oder Funktionsbeeinträchtigungen traten keine auf. Obwohl wir bisher nur vier Pferde untersucht haben, sind aufgrund der Ergeb-

nisse und der Erfahrungen bei anderen Spezies gewisse Schlussfolgerungen zulässig. Wie beim Menschen (Hoppeler) [4] besteht auch im Muskel der trainierten Pferde ein statistisch hoch signifikant höherer Volumenanteil an interfibrillären Mitochondrien. Ebenso ist das Verhältnis von Mitochondrien zu Myofibrillen beim trainierten Pferd signifikant zu Gunsten der Mitochondrien, also der energieliefernden Strukturen verschoben.

Überraschend war, dass im Vergleich zur menschlichen Muskelzelle im *M.semitendineus* des Pferdes sowohl beim trainierten als auch beim untrainierten Tier sehr wenig Fettreserven festzustellen waren. Die übrigen Zellstrukturen wie Myofibrillen und Cytoplasma zeigten keine vom Trainingszustand abhängigen Unterschiede. Beim Menschen wurde eine strenge Korrelation zwischen Mitochondrienvolumen und maximaler Sauerstoffaufnahmekapazität nachgewiesen. Diese Sauerstoffaufnahmekapazität widerspiegelt sich in der aeroben Energiebereitstellung und diese wiederum in der mitochondrialen Oxydationskapazität. Letztere kann durch direkte Enzymaktivitätsbestimmungen erfasst werden, und entsprechend sind bei unseren gut trainierten Pferden die Aktivitäten der Enzyme, die am aeroben Stoffwechsel beteiligt sind, erhöht. Im Gegensatz zu den morphometrischen Ergebnissen lässt die kleine Anzahl der analysierten Gewebeproben bei den Enzymaktivitäten keine statistische Berechnung zu.

Die beschriebenen Untersuchungsmethoden sind zusammen mit der beim Menschen gebräuchlichen Spiroergometrie ein gutes Mittel zur Beurteilung des Leistungsvermögens. Allerdings sind sie als Routinemethoden wegen dem grossen Zeitaufwand und den daraus entstehenden Kosten kaum geeignet.

Es wird sich später zeigen, ob andere Skelettmuskeln für die morphometrischen und enzymatischen Untersuchungen besser geeignet sind und ob die Methode empfindlich genug ist, auch wenig voneinander verschiedene Trainingsumstände objektivieren zu können.

Zusammenfassung

In einer orientierenden Mitteilung wird die morphometrische und enzymatische Untersuchung am *M.semitendineus* zweier trainierter und untrainierter Rennpferde beschrieben.

Im trainierten Muskel war der interfibrilläre Mitochondrienvolumenanteil hochsignifikant grösser ($p < 0,001$) als im untrainierten. Was die Enzymaktivitäten anbelangt, so waren vor allem die Succinat-Dehydrogenase- und die Malat-Dehydrogenase-Aktivitätserhöhungen bemerkenswert. Mit weiteren Untersuchungen wird man versuchen, der Objektivierung der Fitness beim Rennpferd näher zu kommen.

Résumé

Il s'agit d'une description de l'examen morphométrique et enzymatique au *M.semitendineus* de deux chevaux de course entraînés et de deux chevaux de course sans entraînement.

Dans le muscle entraîné la portion volumétrique des mitochondries interfibrillaires

était nettement ($p < 0,001$) plus élevée que dans le muscle sans entraînement. Quant aux activités des enzymes, les élévations des déhydrogénases de succinate et de malate étaient remarquables. Avec des examens suivants on tâchera de préciser l'état d'entraînement des chevaux de course.

Riassunto

È stata compiuta un'analisi morfometrica ed enzimatica del muscolo semitendinoso di due cavalli da corsa allenati e di altri due non allenati. La densità volumetrica (volume density) dei mitocondri centrali era decisamente superiore nei muscoli allenati ($p < 0,001$) che in quelli non allenati. Le attività della succinato-deidrogenasi (EC 1.3.99.1) e malato-deidrogenasi (EC 1.1.37) erano considerevolmente più elevate nel muscolo allenato. In ulteriori ricerche cercheremo di stabilire l'appropriatezza più obiettivamente.

Summary

A morphometric and enzymatic analysis of the M.semitendineus of two trained and two untrained racehorses is given. The volume density of central mitochondria in trained muscles was significantly higher ($p < 0,001$) than in untrained ones.

Succinate-dehydrogenase (EC 1.3.99.1) and malate-dehydrogenase (EC 1.1.37) activities were remarkably higher in the trained muscle. In further investigations we will try to assess fitness more objectively.

Literatur

- [1] Bergstrom J.: Muscle electrolytes in man: determined by neutron activation analysis on needle biopsy specimens; a study on normal subjects, kidney patients, and patients with chronic diarrhoea. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 14 (Suppl. 68), 1-110 (1962). - [2] Gollnick P. D. and King D. W.: Effect of exercise and training on mitochondria of rat skeletal muscle. *Amer. J. Physiol.* 216, 1502-1509 (1969). - [3] Holloszy J. O.: Biochemical adaptations in muscle. Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *J. Biol. Chem.* 242, 2278-2282 (1967). - [4] Hoppeler H., Lüthi P., Claassen H., Weibel E. R. and Howald H.: The ultrastructure of the normal human skeletal muscle. A morphometric analysis on untrained man, women and well-trained orienteers. *Pflügers Arch.* 344, 217-232 (1973). - [5] Howald H.: Auswirkungen sportlicher Aktivität auf den Stoffwechsel. *Schweiz. med. Wschr.* 104, 1535-1538 (1974). - [6] Kiessling K. H., Piehl K. and Lundquist C. G.: Effect of physical training on ultrastructural features in human skeletal muscle. In: B. Pernow and B. Saltin (Edit.): *Muscle metabolism during exercise*. New York-London: Plenum Press 1971. - [7] Kraus H., Kirsten R. und Wolff J. R.: Die Wirkung von Schwimm- und Lauftraining auf die zelluläre Funktion und Struktur des Muskels. *Pflügers Arch.* 308, 57-79 (1969). - [8] Morgan T. E., Cobb L. A., Short F. A., Ross R. and Gunn D. R.: Effects of long term exercise on human muscle mitochondria. In: B. Pernow and B. Saltin (Edit.) *Muscle metabolism during exercise*. New York-London: Plenum Press 1971. - [9] Moesch H. and Howald H.: Hexokinase (HK), Glyceraldehyd-3 P-Dehydrogenase (GAPDH), Succinat-Dehydrogenase (SDH) and 3-Hydroxyl-CoA-Dehydrogenase (HAD) in Skeletal Muscle of Trained and Untrained Men. In: H. Howald and J. R. Poortmans (Eds.): *Metabolic Adaption to Prolonged Physical Exercise*; 463-465 Birkhäuser, Basel 1975. - [10] Weibel E. R.: Stereological principles for morphometry in electron microscopic cytology. *Int. Rev. Cytol.* 26, 235-302 (1969).