

Aktivitätsveränderungen von Serumenzymen bei jüngeren und älteren Athleten durch einen Marathonlauf*

Analysen über die Bedeutung von Training und Sport zur Vorbeugung von körperlichen Leistungsverlusten und zur Wiederherstellung verlorengangener Leistungsfähigkeit beschäftigen die experimentelle Sportmedizin zunehmend. Das Bemühen zur Ergründung ursächlicher Zusammenhänge führt hierbei von sogenannten Bruttokriterien zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit weg zur Beobachtung von Stoffwechselforgängen einzelner Organe, insbesondere der arbeitenden Muskulatur. Obwohl heute bereits eine stattliche Zahl von Substraten, Stoffwechselmetaboliten und -katalysatoren bestimmt werden können, stellen die bisherigen Erkenntnisse über den Einfluß von Training und Sport auf komplexe Stoffwechselforgänge — in der Gesamtsicht der theoretischen Möglichkeiten — nur Mosaiksteine dar. Alle Stoffwechselabläufe werden von Katalysatoren (Enzymen) gesteuert, die somit eine Schlüsselposition in der Lebensfunktion einnehmen. Demgemäß kommt der Enzymforschung eine besondere Bedeutung zu. Es liegt bereits eine Fülle von Einzelbeobachtungen vor, die — wie z. B. in der Altersforschung — zur Zeit zu spektakulären, früher oder später widersprochenen oder widerrufenen Hypothesen führten („mitochondriale Teilungshemmung“ von H. TAUCHI u. T. SATO, 1968; 2 „Kopierfehler“-Hypothesen von Z. A. MEDWJEDJEW, 1961, 1967, und V. J. WULFF u. Mitarb., 1962). Aus methodischen Gründen (Gewinnung genügend großer Gewebeproben, streng vergleichbares Untersuchungskollektiv etc.) wurden die bezüglich der biochemischen Altersforschung bisher in der Literatur vorliegenden Befunde beinahe ausschließlich in Tierversuchen gewonnen.

In der vorliegenden Arbeit möchten wir über Untersuchungen von Veränderungen der Aktivität einiger Enzyme der Glykolyse, des Citratzyklus, des Eiweißstoffwechsels und der Muskulatur (CPK) im Blutserum durch intensive Ausdauerbeanspruchung bei Athleten unterschiedlichen Alters berichten.

Methodik:

Bei 3 offiziellen, vom DLV veranstalteten Marathonläufen (Bensberg: April 1973; Dülmen: Juni 1973; Ameln: August 1973) stellten sich 37 Athleten für diese Untersuchungen zur Verfügung. Ihr Durchschnittsalter betrug 43,8 Jahre (der jüngste

* Mit Unterstützung des Bundesministers für Jugend, Familie und Gesundheit. — Für die technische Mitarbeit bei der Erhebung der Befunde danken wir Fr. K. BÖTTCHER, Fr. B. KRÜGER, Fr. KURELINK und Fr. M. SAWADA.

untersuchte Läufer war 25,1 Jahre, der älteste 66,2 Jahre alt). Bei einer mittleren Größe von $174,8 \pm 5,5$ cm betrug das durchschnittliche Körpergewicht $71,4 \pm 8,4$ kg. Zur Bestimmung der Enzymaktivitäten entnahmen wir vor und innerhalb von 10 Minuten nach dem Lauf 20 cm^3 Blut aus einer Kubitalvene. Nach sofortigem 2maligen Zentrifugieren wurde das Serum bei $+4^\circ \text{C}$ im Kühlschrank bis zur Analyse der Enzymaktivitäten aufbewahrt, die spätestens 3 Stunden nach der Blutprobenentnahme begann.

Bei der Analytik bedienten wir uns der biochemischen Testkombinationen der Firmen BOEHRINGER, MERCK und BEHRING zur Bestimmung von Enzymaktivitäten im U.-V.-Bereich.

Im einzelnen wurden die Aktivitätsänderungen folgender Enzyme registriert:

a) Aus der Glykolyse:

Phosphohexoseisomerase (PHI), EC 5.3.1.9

Aldolase (ALD), EC 4.1.2.12

Pyruvatkinase (PK), EC 2.7.1.40

Laktatdehydrogenase (LDH), EC 1.1.1.27

α -Hydroxybutyratdehydrogenase (α -HBDH) EC 1.1.1.30

b) aus dem Zitronensäurezyklus:

Malatdehydrogenase (MDH), EC 1.1.1.37

Isocitratdehydrogenase (ICDH), EC 1.1.1.42

c) aus dem Eiweißstoffwechsel:

Glutamatoxalacetattransaminase (GOT), EC 2.6.1.1

Glutamatdehydrogenase (GLDH), EC 1.4.1.2

γ -Glutamyltranspeptidase (γ -GT), EC 6.3.2.3

d) aus der Muskulatur:

Creatinphosphokinase (CPK), EC 2.7.3.2

Zur Auswertung der Befunde teilten wir die Läufer in 2 Altersgruppen ein: 1. Gruppe — jünger als 45 Jahre (X_1) und 2. Gruppe — älter als 45 Jahre (X_2). Das Durchschnittsalter der 1. Gruppe betrug $35,6 \pm 5,1$ Jahre, das der 2. Gruppe $53,8 \pm 7$ Jahre.

Ferner führten wir eine Differenzierung der Aktivitätsveränderung nach dem Körpergewicht der Teilnehmer durch. Hierbei kam folgende Einteilung zur Anwendung:

A: bis einschließlich Sollgewicht, wobei wir das Sollgewicht in kg nach der Faustregel „Körpergröße über 100 cm abzüglich 10%“ definierten.

B: bis 10% über dem Sollgewicht.

C: zwischen 10 und 20% über dem Sollgewicht.

D: mehr als 20% über dem Sollgewicht.

Ergebnisse und Diskussion:

1. Glykolytische Enzyme:

Die Aktivitätsänderungen der gemessenen glykolytischen Enzyme durch eine Marathonlaufleistung (Mittelwerte aller untersuchten Athleten) wird in Tabelle 1 wiedergegeben. Die Zunahme der Aktivität betrug zwischen 51 und 931 % und war für alle beobachteten Enzyme hochsignifikant.

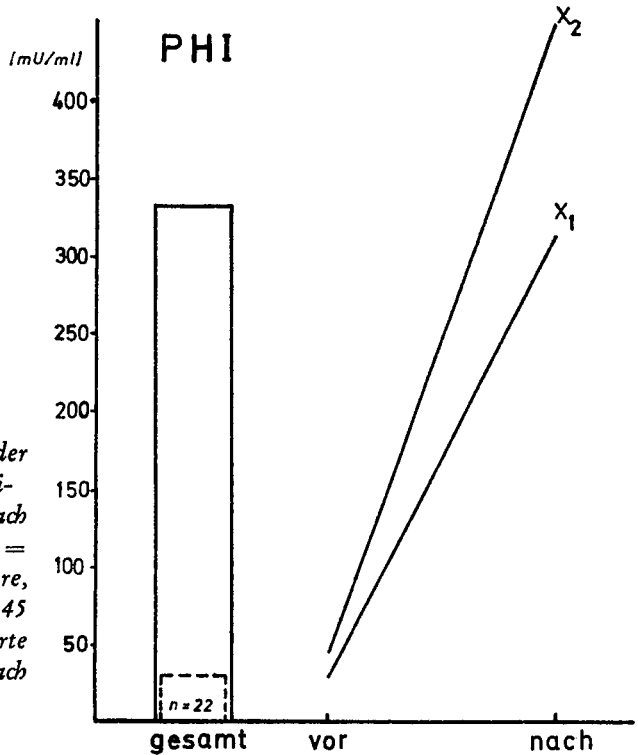


Abb. 1 Die Veränderung der Phosphohexoseisomerase-Aktivität (PHI) im Blutserum nach Marathonlaufleistung. X_1 = Läufer, die jünger als 45 Jahre, X_2 = Läufer, die älter als 45 Jahre waren; ---- Ruhewerte vor dem Lauf, — Befunde nach dem Lauf.

	PHI	ALD	PK	LDH	α -HBDH
n	22	21	37	37	10
\bar{x}	33,2	1,49	18,1	168,0	107,7
\bar{y}	342,9	3,28	49,1	335,7	161,3
Δ in %	931	134	171	101	51
t	-8,654	-5,763	-11,753	-8,184	-9,770
p	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Tab. 1 Mittelwerttabelle der beobachteten glykolytischen Enzyme von allen untersuchten Athleten vor (x) und nach (y) einem Marathonlauf.

Die *Phosphohexoseisomerase (PHI)* (Abb. 1) zeigte bereits unter Ruhebedingungen deutliche Altersunterschiede. Während bei den Athleten unter 45 Jahren ein Ruhewert im Mittel von $29,9 \pm 6,4$ mU/ml ($n = 17$) gemessen wurde, lagen die Ausgangswerte bei den Läufern über 45 Jahren mit $44,6 \pm 71$ mU/ml ($n = 5$) deutlich höher. Nach dem Marathonlauf beobachteten wir bei den älteren Teilnehmern für PHI mit $+ 403,6 \pm 298$ mU/ml einen wesentlich stärkeren Aktivitätsanstieg als bei den jüngeren Athleten ($+ 282,1$ mU/ml). Dieses unterschiedliche Verhalten konnte jedoch wegen der großen Streubreite der Einzeldifferenzen und der kleinen Anzahl älterer Läufer statistisch nicht gesichert werden. Vergleichbare Werte in der Literatur sind nicht bekannt.

Bei der *Aldolase (ALD)* konnten wir unter Ruhebedingungen keine Differenzen zwischen den beiden Altersgruppen feststellen. K. VETTER u. Mitarb. (1961) fanden jedoch bei 40- bis 60jährigen männlichen Personen 11 % höhere ALD-Werte als bei 20- bis 40jährigen. Der Marathonlauf führte bei den Athleten unter 45 Jahren zu einer ALD-Aktivitätssteigerung von 127 %, bei den älteren Läufern von 159 %.

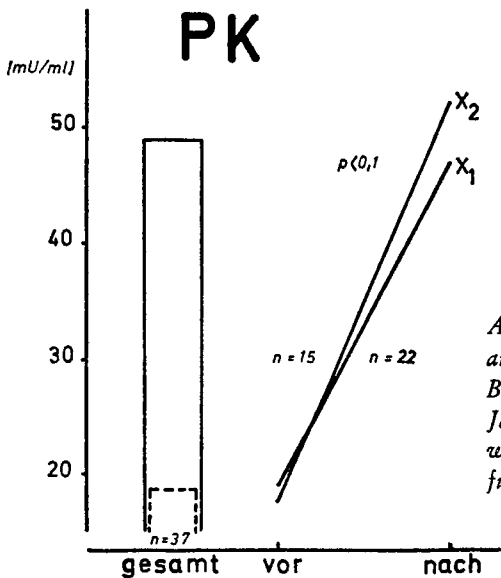


Abb. 2 Der Effekt eines Marathonlaufes auf die Pyruvatkinase-Aktivität (PK) im Blutserum. X_1 = Läufer, die jünger als 45 Jahre, X_2 = Läufer, die älter als 45 Jahre waren; - - - Ruhewerte vor dem Lauf, — Befunde nach dem Lauf.

Die *Pyruvatkinase (PK)* (Abb. 2) zeigte in den Ruhewerten keine Abhängigkeit vom Alter und Körpergewicht. Nach einer Laufleistung von 42,2 km registrierten wir eine um 47 % stärkere Aktivitätszunahme bei den über 45jährigen. P. OTTO u. Mitarb. (1964) fanden nach 2- bis 5ständiger Ergometerarbeit von 50 Watt/sec. mittlere Zuwachsraten in der PK-Aktivität von 25 % bzw. 52 % bei 4 bzw. 8 gesunden Probanden des 3. Lebensjahrzehnts, während wir nach dem Marathonlauf einen mittleren Anstieg von 171 % beobachteten. In unserer Studie zeigten übergewichtige Läufer eine intensivere PK-Aktivitätssteigerung als normal- und untergewichtige. Die gemessenen Differenzen waren statistisch jedoch nicht zu sichern.

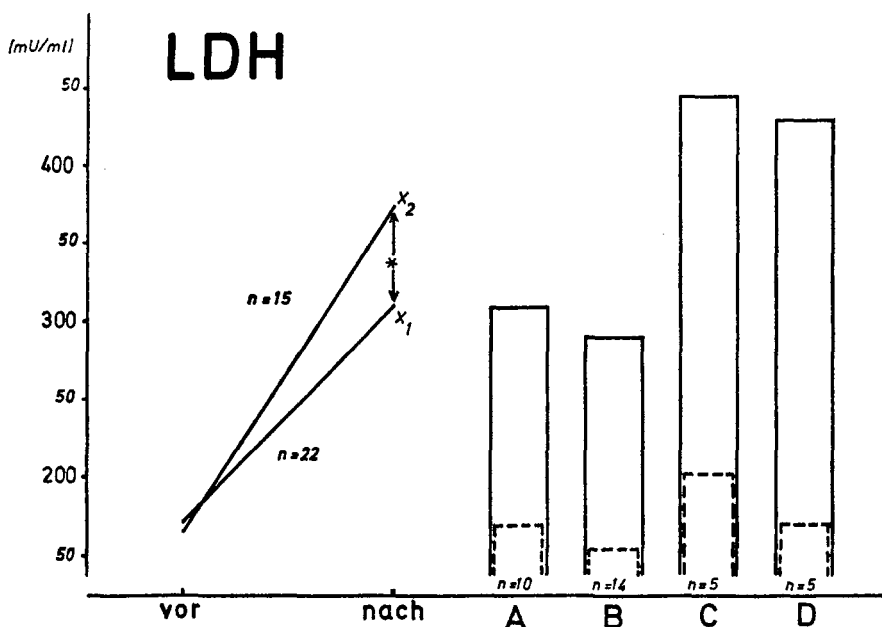


Abb. 3 Der Einfluß einer Marathonlaufleistung auf die Aktivitätsänderung der Laktatdehydrogenase (LDH). X_1 = Läufer, die jünger als 45 Jahre, X_2 = Läufer, die älter als 45 Jahre waren; - - - Ruhewerte vor dem Lauf, — Befunde nach dem Lauf.

Die Laktatdehydrogenase (LDH) (Abb. 3) stieg von gleichen Ausgangswerten (um 168 mU/ml) bei den jüngeren Athleten auf 310 mU/ml und bei den älteren auf 374 mU/ml. Für diese Differenzen ergab sich ein $p < 0,05$.

Für alle untersuchten Läufer registrierten wir im Mittel für LDH einen Anstieg von 101%, während L. T. ROSE u. Mitarb. (1970) nach einem Marathonlauf eine LDH-Aktivitätszunahme von lediglich 50% beschrieben. Nach einem 10 000-m-Lauf beobachteten die gleichen Autoren (1970) eine nichtsignifikante Steigerung der LDH-Aktivität von 20%.

Bei der Betrachtung der Abhängigkeit der LDH-Aktivitätszunahme vom Körpergewicht zeigte sich, daß die Läufer mit einem Übergewicht von mehr als 10% einen um 84% höheren LDH-Aktivitätsanstieg aufwiesen als die normgewichtigen, einschließlich derer, die bis zu 10% über dem Sollgewicht lagen (Abb. 3).

2. Enzyme des Zitrat-Zyklus:

Als Enzyme des Zitronensäurezyklus beobachteten wir die NADP-abhängige ICDH und MDH.

Der Einfluß des Marathonlaufes auf die Aktivitätsänderungen bei allen untersuchten Athleten wird in der Mittelwertstabelle 2 wiedergegeben.

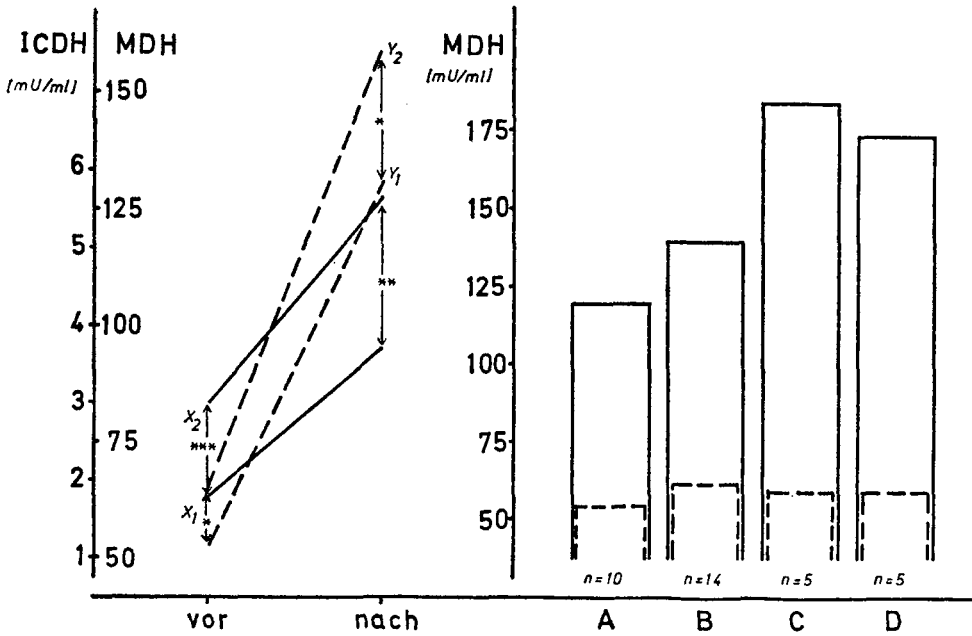


Abb. 4 Die Beeinflussung der Isocitratdehydrogenase- und Malatdehydrogenase-Aktivitäten durch eine Marathonlaufleistung. X_1 und X_2 = ICDH-Kurven, Y_1 und Y_2 = MDH-Kurven. X_1 und Y_1 = Läufer, die jünger als 45 Jahre, und X_2 und Y_2 = Läufer, die älter als 45 Jahre waren. X_1 = Läufer, die jünger als 45 Jahre, X_2 = Läufer, die älter als 45 Jahre waren; - - - - Ruhewerte vor dem Lauf, — Befunde nach dem Lauf.

	ICDH	MDH
n	25	37
\bar{x}	2,39	58,0
\bar{y}	4,65	142,5
Δ in%	105	153
t	-6,389	-11,660
p	0,001	0,001

Tab. 2 Mittelwerttabelle der Zitratzyklus-Enzyme ICDH und MDH (x = Ausgangswerte; y = nach einem Marathonlauf).

Die Isocitratdehydrogenase (ICDH) (Abb. 4) zeigte bereits unter Ruhebedingungen deutliche Altersunterschiede. Die Gruppe der älteren Läufer wies, von einem höheren Ruhewert ausgehend, einen um etwa 25% höheren Anstieg auf. Die Differenzen zwischen den beiden Altersgruppen waren sowohl in Ruhe als auch nach

dem Lauf hoch bzw. deutlich signifikant. Eine Beziehung zwischen Enzymaktivität und Körpergewicht ließ sich nicht errechnen.

Die *Malatdehydrogenase* (MDH) (Abb. 4) zeigte bezüglich der Altersabhängigkeit in Ruhe und nach dem 42,2-km-Lauf ein dem ICDH-Verhalten vergleichbares Bild. W. M. FOWLER u. Mitarb. (1962, 1968) beobachteten eine belastungsdauer- und -intensitätsabhängige Steigerung der MDH-Aktivität. Bei Mittelwerten in Ruhe von $77,2 \pm 29,8$ mU/ml, die deutlich höher waren als die von uns registrierten (58 ± 15 mU/ml), ermittelte man für einen 8-Meilen-Lauf eine Steigerung der Aktivität um 80%. Wir registrierten eine mittlere Zunahme nach dem Marathonlauf von 153%.

Eine Beziehung zwischen Enzymaktivitätszunahme und Körpergewicht (Abb. 4) ergab sich insofern, als die Athleten mit einem Übergewicht von mehr als 10% des Sollgewichtes im Mittel um 46,5 mU/ml höhere Aktivitätsanstiege nach dem Lauf aufwiesen als die Normalgewichtigen, einschließlich der bis zu 10% das Sollgewicht Überschreitenden.

D. D. FANESTIL u. C. H. BARROWS (1965) beobachteten erstmals an Rotiferen, daß mit zunehmendem Alter der Quotient *Malatdehydrogenase/Laktatdehydrogenase* bei diesen Tieren absank. D. D. SCHMUCKLER u. C. H. BARROWS (1966) sahen bei älteren Ratten nur für die Muskulatur infolge einer Abnahme von LDH einen Anstieg des MDH/LDH-Quotienten.

Wir fanden im Blutserum bei den Marathonläufern unter Ruhebedingungen einen schwach signifikant höheren Quotienten für die älteren Teilnehmer (0,40/0,33). Nach dem Lauf waren die Differenzen beinahe ausgeglichen (0,46/0,45).

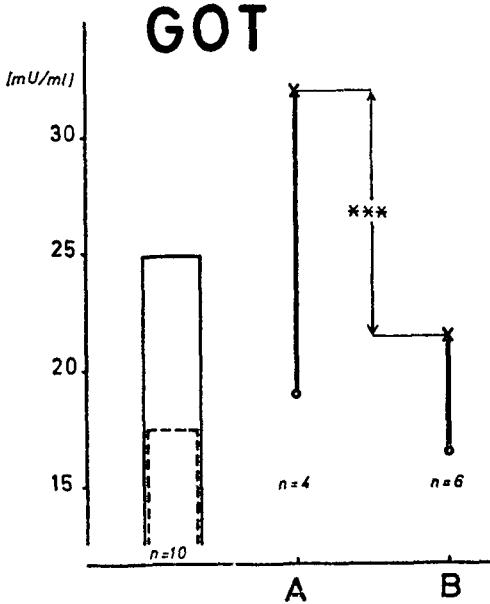
3. Enzyme des Eiweißstoffwechsels:

Die *Glutamatoxalacetattransaminase* (GOT) (Abb. 5, Tab. 3) wurde nur beim Marathonlauf in Ameln gemessen.

Die Enzymaktivität stieg um 42%. Diese Differenz erwies sich als hochsignifikant. Die Athleten mit einem Körpergewicht bis zum Sollgewicht hatten statistisch gesichert höhere GOT-Anstiege als die Teilnehmer, die bis zu 10% Übergewicht aufwiesen. Als Ursache für dieses Verhalten könnte die Oxydation auch von Eiweißen zur Energiebereitstellung bei diesen leichtgewichtigen Athleten diskutiert werden. Zur Abklärung dieses Befundes bedarf es jedoch weiterführender Untersuchungen.

In der Literatur werden sich widersprechende Befunde bezüglich GOT-Aktivität und körperlicher Belastung mitgeteilt. Während FOWLER (1962), G. W. GARDNER (1964), HOLLMANN (1965), OTTO (1964) und andere in der Höhe z. T. sehr unterschiedliche Aktivitätssteigerungen feststellten, sahen J. B. CRITZ (1962) und VETTER (1961) sogar einen Abfall der Enzymaktivitäten un-

nach maximal 20 min Laufbandbelastung oder Ergometerarbeit erhoben. Daher mittelbar am Ende der Belastung. Die Befunde der ersten Autorengruppe wurden sind die quantitativen Veränderungen mit unseren Ergebnissen nicht zu vergleichen.



	GOT	GLDH	γ-GT
n	10	10	12
\bar{x}	17,5	2,5	16,5
\bar{y}	24,9	3,3	17,3
Δ in%	42	54	15
t	-6,137	-2,282	0,863
p	0,001	0,05	-

Abb. 5 Der Einfluß eines Marathonlaufes auf die GOT. 0 = Ruhewert vor dem Lauf, x = Werte unmittelbar nach dem Lauf. - - - - Ruhewerte vor dem Lauf, — Befunde nach dem Lauf.

Tab. 3 Mittelwerttabelle der untersuchten Enzyme aus dem Aminosäurestoffwechsel (x = vor dem Lauf, y = nach dem Marathonlauf).

Die *Glutamatdehydrogenase* (GLDH) (Tab. 3) wurde ebenfalls nur beim Marathonlauf in Ameln gemessen. Wir errechneten einen schwach signifikanten Anstieg der Aktivität durch den Lauf. Eine Abhängigkeit der Enzymaktivität vom Körpergewicht der Läufer war nicht festzustellen.

Während bei den Läufen in Bensberg und Dülmen kühle Witterung vorherrschte, fand der Lauf in Ameln an einem warmen Sommernachmittag (Start 16 Uhr) statt. Diese klimatischen Unterschiede spiegeln sich im Verhalten des Hämatokrit (Tab. 4) und dadurch zum Teil des Gesamteiweißes (Tab. 5) wider. Die zwar signifikante Zunahme des Hämatokrits in Ameln ist prozentual gesehen mit 2,1% zu gering, um den GLDH-Anstieg von 21,7% zu erklären.

Ebenfalls steht eine Erklärung für das Ausbleiben der Gesamteiweißzunahme beim Lauf in Bensberg aus. Es ist zu untersuchen, ob dieses Verhalten mit dem gegenüber den anderen Läufen differenten Untersuchungsgut in Zusammenhang steht, da die Athleten in Bensberg beinahe ausschließlich zur älteren Gruppe gehörten.

	gesamt	Ameln	Dülmen
n	21	10	11
\bar{x}	45,98	46,98	45,06
sx	3,23	3,02	3,27
y	46,92	47,96	45,92
sy	3,46	2,82	3,82
t	-2,231	-2,510	-1,180
p	0,05	0,05	—

Tab. 4 Mittelwerte und Statistik über das Hämatokritverhalten nach Marathonlaufleistung (x = vor dem Lauf, y = nach dem Lauf).

	gesamt	Ameln	Bensberg	Dülmen
n	37	10	15	12
\bar{x}	7,37	6,77	7,50	7,70
sx	0,66	0,53	0,62	0,43
y	7,76	7,60	7,53	8,20
sy	0,71	0,50	0,69	0,60
t	-3,624	-10,096	-0,135	-3,710
p	0,001	0,001	—	0,005

Tab. 5 Mittelwerte über den Einfluß eines Marathonlaufes auf das Gesamteiweiß im Blutserum (x = vor dem Lauf, y = nach dem Wettkampf).

4. Das Muskelenzym Kreatinphosphokinase (CPK):

In Übereinstimmung mit den Befunden von F. D. GRIFFITHS (1966) und B. AHLBORG u. J. BROHULT (1967) u. a. stieg die CPK-Aktivität (Abb. 6) durch die Marathonlaufleistung im Mittel hochsignifikant an. ROSE u. Mitarb. (1970) fanden bei ihren Untersuchungen mit Marathonläufern CPK-Anstiege um 100%, während wir Aktivitätszunahmen von 274% beobachteten.

Trotz einer um 56 mU/ml intensiveren Aktivitätszunahme bei der Gruppe der älteren Läufer konnte die Altersabhängigkeit statistisch nicht gesichert werden. Die älteren Sportler hatten dabei niedrigere Ausgangswerte und Aktivitätsanstiege auf höhere Werte als die jüngeren. Die mittlere Aktivitätszunahme war bei den älteren Teilnehmern doppelt so hoch wie bei den jüngeren Läufern. AHLBORG u. BROHULT (1967) beschrieben ein entsprechendes Verhalten der CPK-Aktivität bei Gegenüberstellung von trainierten und untrainierten Versuchspersonen des 3. Lebensjahrzehnts nach 90minütiger intensiver Fahrradergometerarbeit. F. Q. NUTTALL u. B. JONES (1968) beobachteten ebenfalls bei Trainierten höhere Ruheausgangswerte für CPK und nach dosierter Belastung (Intervallarbeit mit Hanteln) bei den Trainierten geringere Enzym-Aktivitätssteigerungen als bei Untrainierten. Diese Befunde wurden zuletzt von W. KIEF u. Mitarb. (1972) bestätigt.

Als mögliche Erklärung für die beobachtete Altersabhängigkeit des CPK-Aktivitätsanstieges bietet sich demnach die Hypothese an, daß mit der Altersinvolution (z. B.) ein Status der Zellmembranpermeabilität erreicht wird, der in jüngeren Jahren einem schlechteren Trainingszustand auf zellulärer Ebene entspricht.

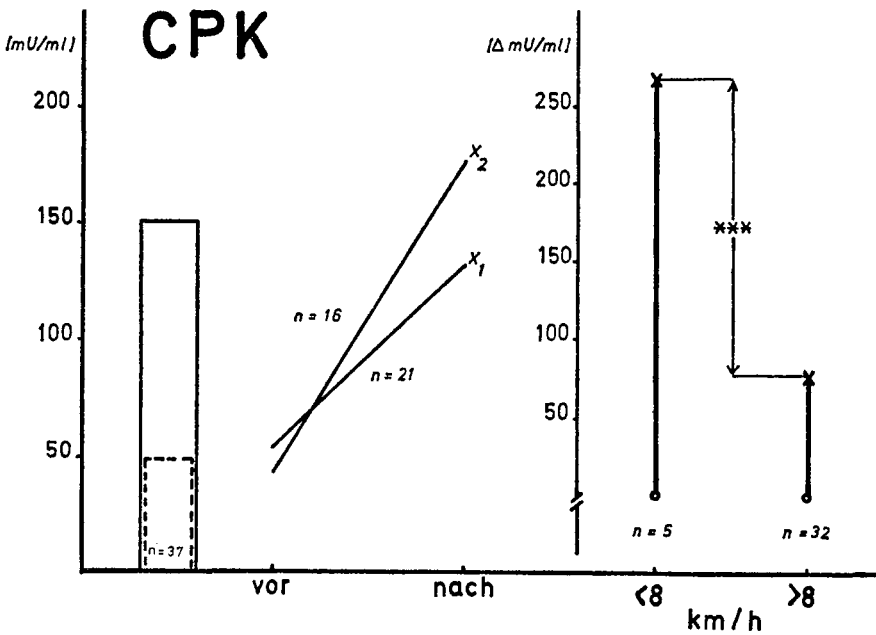


Abb. 6 Aktivitätsveränderungen für CPK in Abhängigkeit vom Alter und von der Laufgeschwindigkeit. Kleiner als 8 km/h = Aktivitätsänderung der Läufer, die im Mittel langsamer als 8 km/h waren. Größer als 8 km/h entsprechend. Es wird hier die CPK-Aktivitätszunahme dargestellt. X₁ = Läufer, die jünger als 45 Jahre, X₂ = Läufer, die älter als 45 Jahre waren; - - - - Ruhewerte vor dem Lauf, — Befunde nach dem Lauf.

Eine Abhängigkeit der CPK-Aktivitäten unter Ruhebedingungen vom Körpergewicht bestand bei unseren Untersuchungen nicht. Nach dem Marathonlauf lag der CPK-Spiegel bei den schwereren Läufern (n = 10) etwa um 60% höher als bei den Läufern, die weniger als 10% Übergewicht hatten (n = 24). Der Vergleich zwischen den Athleten mit einem Körpergewicht, das unter dem Sollgewicht lag oder dem Sollgewicht entsprach (n = 10), und denen, die mehr als 10% Übergewicht (n = 10) aufwiesen, brachte signifikant höhere Werte für die schwereren Athleten. Als Ursache für dieses Verhalten muß eine relative Mehrarbeit der gegebenen Muskulatur diskutiert werden, die wegen der unvorteilhafteren Relation zwischen aktivem und passivem Anteil des Körpergewichts bei den Übergewichtigen notwendig wird.

Es ließ sich ferner eine deutliche Abhängigkeit der Änderung der CPK-Aktivität von der Laufgeschwindigkeit berechnen (Abb. 6). Bei den Athleten, die im Mittel langsamer als 8 km/h (v = 6,5 km/h) liefen, fanden wir gegenüber den schnelleren (v = 12,8 km/h) hochsignifikant größere Aktivitätszunahmen. Dieser Befund könnte auf einen schlechteren Trainingszustand der langsameren Teilnehmer hinweisen oder durch die längere Belastungsdauer und damit durch den größeren Zeit-

abstand zwischen Belastungsbeginn und Blutabnahme bedingt sein. W. KÜSTNER u. Mitarb. (1968) beschrieben bereits 1966 eine Abhängigkeit der CPK-Aktivität von der Zeit, die seit dem Belastungsbeginn verstrich. Sie beobachteten die höchsten Enzymaktivitäten nach 8 Stunden.

Zusammenfassung:

37 Athleten im Alter von 25,1 bis 62,2 Jahren (Mittelwert 43,8 Jahre) stellten sich im Rahmen eines Marathonlaufes zu diesen Untersuchungen zur Verfügung. Vor und nach dem Wettkampf wurde den Läufern 20 cm³ Blut aus einer Kubitalvene entnommen. Daraus bestimmten wir die Aktivitäten folgender Enzyme:

- a) aus der Glykolyse: Phosphohexoseisomerase (PHI), Aldolase (ALD), Pyruvatkinase (PK), Laktatdehydrogenase (LDH), α -Hydroxybutyratdehydrogenase (α -HBDH);
- b) aus dem Citrat-Zyklus: Malatdehydrogenase (MDH), Isocitratdehydrogenase (ICHD);
- c) aus dem Eiweißstoffwechsel: Glutamatoxalacetattransaminase (GOT), Glutamatdehydrogenase (GLDH), γ -Glutamyltranspeptidase (γ -GT);
- d) das Muskelenzym Kreatinphosphokinase (CPK).

Es wurden folgende Veränderungen und Beziehungen festgestellt:

1. Nach dem Marathonlauf war die Aktivität für PHI, ALD, PK, LDH, α -HBDH, für MDH und ICDH sowie für GOT und CPK hochsignifikant erhöht. GLD wies eine schwachsignifikante Aktivitätszunahme auf.
2. Die älteren Läufer zeigten für PHI, ICDH und MDH höhere Ruhewerte. Alle gemessenen Enzym-Aktivitäten der Glykolyse und des Citrat-Zyklus stiegen bei den älteren Athleten stärker an. Enzyme des Aminosäure-Stoffwechsels wurden nur bei der jüngeren Altersklasse bestimmt. Die CPK-Aktivität stieg bei den älteren Sportlern von einem niedrigeren Ruhewert aus auf höhere Endwerte als bei den jüngeren.
3. Eine Gewichtsabhängigkeit der Enzymveränderungen ließ sich bei unserem Kollektiv für PK, LDH, MDH, GOT und CPK errechnen. Übergewichtige wiesen für PK, LDH, MDH und CPK einen größeren Aktivitätsanstieg auf. Für die GOT-Aktivität zeigte sich dagegen ein signifikant höherer Anstieg bei der Gruppe mit einem Körpergewicht bis zum Sollgewicht gegenüber Läufern mit bis zu 10% Übergewicht.
4. Für das Verhalten der CPK-Aktivität ließ sich ferner eine Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit berechnen. Mögliche Ursachen für die unterschiedlichen Aktivitätsanstiege und deren Beziehungen zum Alter, Körpergewicht oder zur Laufgeschwindigkeit werden diskutiert.

Literatur

- AHLBORG, B./BROHULT, J.: Immediate and delayed metabolic reactions in well-trained subjects after prolonged physical exercise. *Acta med. scand.* 182 (1967), 41.
- BAUMANN, F./ESCHER, J./RICHTERICH, R.: Das Verhalten von Serum-Enzymen bei sportlichen Leistungen. *Schweiz. Z. Sportmed.* 10 (1962), 33.
- BLOCK, P./VAN RIJMENAT, M./BADJOU, R./VAN MELSEM, A. Y./VOGELER, R.: The effects of exhaustive effort on serum enzymes in man. In: KARGER, S.: *Biochemistry of exercise*. Basel 1969.
- CANTONE, A./CERRETELLI, P.: The effects of musculatur work on serum aldolase activity in trained and untrained man. *Int. Z. angew. Physiol.* 18 (1960), 107.
- CRITZ, J. B./MERRICK, A. W.: Serum glutamic oxalacetic transaminase level after exercise in men. *Bull. Soc. Biol. med.* 109 (1962), 608.
- FANESTIL, D. D./BARROWS, C. H.: *J. GERONT.* 20 (1965), 462.
- FOWLER, W. M./CHOWDHURY, S. R./PEARSON, C. M./GARDNER, G./BRATTON, R.: Changes in serum enzyme levels after exercise in trained and untrained subjects. *J. appl. Physiol.* 17 (1962), 943.
- FOWLER, W. M./GARDNER, G. W./KAZERUNIAN, H. H./LAUSTAD, W. A.: Effect of exercise on serum enzyme. *Arch. Physiol. Med. Rehabil.* 49 (1968), 554.
- GARDNER, G. W./BRATTON, R./CHOWDHURY, S. R./FOWLER, W. F./PAERSON, C. M.: Effect of exercise in serum enzyme levels in trained subjects. *J. Sports Med.* 4 (1964), 1030.
- GRIFFITHS, F. D.: Serum levels of ATP creatine phosphotransferase (creatin kinase). The normal range and the effect of muscular activity. *Clin. Chim. Acts* 13 (1966), 413.
- HALONEN, P. J./KONTTINEN, A.: Effect of physical exercise on some enzyme in the serum. *Nature* 10 (1962), 942.
- HOLLMANN, W./SCHLÜSSEL, H./SPECHTMEYER, H.: Einige Enzymspiegel bei dosierter dynamischer und statischer Arbeit unter Atmung variabler O₂-Gemische. *Sportarzt u. Sportmedizin* 5 (1965), 166.
- HUNTER, J. B./CRITZ, J. B.: Effect of training on plasma enzym levels in man. *J. appl. Physiol.* 31 (1971), 20.
- KIEF, W./KLEIN, B./MÖLLER, E.: Enzy mbewegungen unter körperlicher Belastung bei trainierten und untrainierten Probanden. *Med. Klin.* 67 (1972), 195.
- KÜSTNER, W./PAETZEL, A./WEINREICH, J.: Veränderung der Kreatinphosphokinase-Aktivität im Serum bei körperlicher Belastung. *Med. Klin.* 61 (1968), 1858.
- LUKASIK, S./BULA, B.: Studies on the influence of the diminished atmospheric pressure on some enzymes. I. Serum activity of aldolase, phosphohexose isomerase, glutamic-oxalacetic transaminase and alkaline phosphatase in athletes exercising in a low pressure chamber. In: KARGER, S.: *Biochemistry of exercise*. Basel 1969.
- MEDWJEDJEW, Z. A.: Aging at the molecular level. In: SCHOCK, N. W. (ed.): *Biological aspects of aging*. New York 1962, 255.
- MEDWJEDJEW, Z. A.: *Symp. Soc. Exp. Biol.* XXI. London 1967, 1.

Aktivitätsveränderungen von Serumenzymen bei jüngeren und älteren Athleten

- METIVIER, G.: Enzymatic and ionic changes in man associated with physical work. In: KARGER, S: *Biochemistry of exercise*. Basel 1969.
- MEKECHNIE, J. K./LEARY, W. P./JOUBERT, S. M./PATH, M. C.: Some electrocardiographic and biochemical changes recorded in marathon runners. *S. A. Medical Journals* 41 (1967), 722.
- NUTTALL, F. Q./JONES, B.: Creatine kinase and glutamic oxalacetic transaminase activity in serum: Kinetics of changes with exercise and effect of physical conditioning. *J. Lab. & Clin. Med.* 71 (1968), 847.
- OTTO, P./SCHMIDT, E./SCHMIDT, F. W.: Enzymspiegel im Serum bei körperlicher Arbeit und ambulanten Patienten. *Klin. Wschr.* 42 (1964), 75.
- POORTMANS, J./S'JONGERS, J. J./THYS, A./VAN KERCHOVE, E.: L'activité transaminasique dans la sang total et dans le sérum au cours de l'effort musculaire. *Rev. franc. Et. clin. biol.* 8 (1963), 173.
- REMMERS, A. R./KALJOT, M. V.: Serum transaminase levels: effect of strenuous and prolonged physical exercise on healthy young subjects. *J. amer. med. Ass.* 185 (1963), 968.
- RICHTER, K./KONITZER, K.: Veränderungen der Aldolaseaktivität im Blutserum bei Muskelarbeit. *Klin. Wschr.* 38 (1960), 998.
- ROSE, L. T./BOUSSER, J. E./COOPER, K. H.: Serum enzymes after marathon-running. *J. appl. Physiol.* 29 (1970), 355.
- ROSE, L. T./LOWE, S. L./CARROLL, D. R./WOLISON, S./COOPER, K. H.: Serum lactate dehydrogenase isoenzyme changes after muscular exercise. *J. appl. Physiol.* 28 (1970), 279.
- SCHLANG, H. A./KIRKPATRICK, C. A.: The effect of physical exercise on serum transaminase. *Amer. J. Med. Sci.* 242 (1961), 338.
- SCHMUKLER, M./BARROWS, C. H.: *J. GERONT.* 21 (1966), 109.
- SHAPIRO, Y./MAGAZANIK, A./SOHAR, E.: Serum Enzyme Changes in Untrained Subjects Following a Prolonged March. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 51 (1972), 271.
- SWAIMAN, K. F./AWAD, H. A.: Creatine phosphokinase and other serum enzyme activity after controlled exercise. *Neurologie* 14 (1964), 977.
- TAUCHI, H./SATO, T.: *J. GERONT.* 23 (1968), 454.
- TOPI, G. C./GANDOLFO D'ALESSANDRO, L./PIOVANO, G.: Modifications enzymoplasiques causées le travail musculaire chez des sujets d'âge moyen. In: KARGER, S: *Biochemistry of exercise*. Basel 1968.
- VEIJAJIVA, A./TEASDALE, G. M.: Serum creatine kinase and physical exercise. *Brit. Med. S.* 1 (1965), 1653.
- VETTER, K.: Serumfermente und ihr Verhalten unter physiologischen Bedingungen. *Zschr. inn. Med.* 16 (1961), 359.
- WULFF, V. J./QUASTLER, H./SCHERMAN, F. G.: *Proc. nat. Acad. Sci. (Wash.)* 48 (1962), 1373.
- WUSCHECH, H./RATTAY, M./ROTH, W./AHRENDT, E.: Serumenzymverhalten unter extremen körperlichen Belastungen bei Ausdauersportlern. *Med. u. Sport.* 8 (1968), 18.