

Das Körpermuskelkompartiment und seine Beziehungen zu Nahrungsaufnahme und Blutchemie unter einer extremen Ausdauerbelastung

C. Raschka, M. Plath*), R. Cerull*), W. Bernhard, K. Jung und C. Leitzmann*)

Institut für Anthropologie und Abteilung für Sportmedizin der Universität Mainz und *) Institut für Ernährungswissenschaften der Universität Gießen

Zusammenfassung: Untersuchungsgegenstand sind die Veränderungen des anthropometrisch erfaßten Muskelkompartiments und seiner Beziehungen zu den korrelierenden blutchemischen und ernährungsphysiologischen Kenngrößen bei 42 Teilnehmern und 13 Teilnehmerinnen eines 1000-km-Ultralangstreckenlaufs, der in 20 Tagesetappen von jeweils 50 km zu bewältigen war. Differenziert nach Körperfraktionen folgt auf einen initialen Muskelmasseanstieg eine Abflachung bis zum 12. Tag und bleibt dann stabil. Die aktive Körpersubstanz nimmt zunächst geringfügig ab und steigt nach Laufmitte wieder an. Bei Abnahme sämtlicher korrigierter Muskeldurchmesser zeigte lediglich der Oberschenkeldurchmesser eine anabole Entwicklung, dessen hohe mechanische Belastung seinen Ausdruck im parallel erfolgenden CK- und CKMB-Anstiegen fand. Auch bei den klinisch-chemischen Parametern vollzieht sich die Laufadaptationsreaktion innerhalb der ersten Tage zwischen 1. und 6. Tag: Testosteron-, Kortisol- und Proteinspiegel steigen bei Laufbeginn an und fallen ab dem 3. Lauftag wieder ab, Harnstoffkonzentration und CK/CKMB-Aktivität erst ab dem 6. Tag. Die konsekutive parallele Reduktion von Harnstoff- und Harnsäurespiegeln und vielen Muskelmaßen ist möglicherweise als Clearance-Mechanismus zur Entfernung potentiell toxischer Substanzen zu verstehen. Aus den negativen Korrelationen zwischen kumulativer Proteinzufuhr und Veränderungen von Muskelmaßen sowie der katabolen Stoffwechsellage kann gefolgert werden, daß die absolute Proteinzufuhr von 1,7 g/kg Körpergewicht absolut zu erhöhen ist, um den Muskelsubstanzverlust unter Ultra-Ausdauerbelastung einzudämmen.

Summary: The purpose of the study was to examine the changes of the muscle's fat-free compartment and its relation to the corresponding biochemical and nutritional parameters of 42 men and 13 women, the participants of an ultra long-distance run of 1000 km (20 days of daily running 50 km).

The muscle-fractions initially increased, decreased in the middle phase, and remained stable for the rest of the run. Significant changes of the fat-free weight were registered from the 11th day on, the LBM decreasing until the middle of the distance; then the lean body mass enlarged. All the muscle-circumferences were reduced with the exception of the thigh, which grew, paralleling the CK/CKMB-concentrations, this phenomenon being due to the high mechanical stress of the lower extremities. The biochemical parameters exhibit a strain-related reaction of adaption within the initial 6 days, the hormones and protein-concentration increasing in the beginning and falling from the third day on, uric acid and CK/CKMB-activity decreasing from the 6th day on.

The consecutive parallel reduction of both uric acid, urea, and muscle measurements might be seen as a special endurance-related clearance-mechanism of potential toxicants.

The negative relationship between the changes of muscle measurements and the cumulative protein intake and the catabolic constellation of the clinical-chemical values might suggest that the absolute protein intake of 1.7 g/kg body mass should be increased in order to diminish the loss of musculature during an ultra-long distance run.

Schlüsselwörter: Ausdauersport, Anthropometrie, Muskelkompartiment, Nahrungsaufnahme, Sportanthropologie, Sporternährung, Ultralangstreckenlauf

Key words: endurance sports, anthropometry, muscle compartment, nutritional intake, sports anthropology, sports nutrition, ultra-long distance running

Einleitung und Zielsetzung

In der vorliegenden Untersuchung sollen die mutuellen Interdependenzen des Muskelstoffwechsels unter einer extremen Ausdauerbelastungssituation erfaßt werden.

Eine derartige mit konventionellen Methoden durchgeführte Untersuchung sollte im wesentlichen auf drei diagnostischen Säulen beruhen:

1 Die Anthropometrie

Mit anthropometrischen Instrumenten werden morphologische Veränderungen des Muskelkompartiments sicher erfaßt.

2 Blutchemische Kenngrößen

Einen direkten Einblick in die biochemischen Abläufe des Körpers, über die sowohl hormonelle Reaktionen, mechanisch-induzierte Enzymanstiege als auch die Eiweißfraktionen und mit ihnen zusammenhängende Abbauprodukte konkrete Aussagen liefern können, bietet am ehesten die Erfassung der Konzentrationsänderungen.

3 Die Nährstoffaufnahme

Der diagnostische Kreis schließt sich, wenn neben der metrischen Erfassung morphologischer Änderungen der Muskulatur und biochemischer Abläufe des Proteinstoffwechsels zusätzlich die exakte Eiweißzufuhr erfaßt wird.

Eine günstige Gelegenheit, die gegenseitigen Abhängigkeiten der aufgezeigten Parameter zu studieren und statistische Abhängigkeiten zu eruieren, bietet der Deutschlandlauf 1987, bei dem 42 Männer und 13 Frauen 1000 km in 20 Tagesetappen von jeweils 50 km laufend bewältigten. Hinsichtlich der Ernährung war eine Nährstoffrelation von 60 % Kohlenhydraten, 30 % Fett und 10 % Protein angestrebt worden. Es bestand jedoch keine Reglementierung hinsichtlich der quantitativen Nährstoffaufnahme. Die Sportler und Sportlerinnen durften soviel essen und trinken, wie es ihren jeweiligen individuellen Bedürfnissen entsprach. In der vorliegenden Untersuchung werden ausgewählte anthropometrische Kenngrößen und ihre Veränderungen während dieses Ultralangstrecken-

laufs exakt erfaßt. Während der 20 Lauftage wurden alle zugeführten Nährstoffe, bei denen keine quantitativen Einschränkungen vorgegeben waren, registriert, so daß aufgrund der erhobenen Daten Bezüge zwischen den Veränderungen anthropometrischer Parameter und der individuellen kumulativen Nahrungszufuhr hergestellt werden können.

Methodik

Als Probandenkollektiv dienen 42 Teilnehmer und 13 Teilnehmerinnen eines Ultralangstreckenlaufs über 20 Tagesetappen von jeweils 50 km.

Umfangs- und Breitenmaße wurden mit Hilfe von Bandmaß und Bekkenzirkel nach der Technik von Knussmann (1988), die Hautfettfaltenmeßwerte (HFF) mit einem Holtain Skinfold Caliper nach der Methodik von Parizkova (1977), das Körpergewicht mit einer elektronischen Waage erhoben.

Die Schätzung der Lean Body Mass erfolgte mit Hilfe der Formeln von Parizkova und Buzkova (1971) für die Männer und Sloan et al. (1962) für die Frauen sowie des Muskelkompartiments nach Drinkwater und Ross (1980).

Gesamteiweiß, Harnstoff, Harnsäure und CK wurden mit dem Hitachi 737, die CKMB mit dem Cobas Bio Roche und die Hormone mit EIA und RIA bestimmt.

Die ernährungsphysiologischen Daten der kumulativen Nährstoffaufnahme (Eiweiß) wurden mit dem Nährstoffverarbeitungsprogramm „Diät 2000“ erfaßt (Beyer 1987). Die kumulative Proteinzufuhr wird als Summe der Eiweißaufnahme während der ganzen 20 Tage berechnet. Als statistischer Test dient der Pearson-Bravaische Maßkorrelationskoeffizient.

Anthropometrische Parameter und Blutwerte wurden jeweils vor Laufbeginn, am 4./5. Tag, 11./12. Tag sowie bei Laufende gemessen, die Nährstoffaufnahme dagegen täglich.

Ergebnisse und Diskussion

1 Sportanthropometrische Muskelkompartimentveränderungen

Auf der Grundlage des Zweikompartimentmodells, das nur zwischen Fett und fettfreier Körpermasse (= Aktive Körpersubstanz [AKS] = Lean Body Mass [LBM]) unterscheidet, sind keine Unterschiede hinsichtlich der absoluten und relativen AKS zwischen dem Zeitpunkt der Voruntersuchung (3 Monate vor dem Lauf) und dem Starttermin zu verzeichnen, d.h., die Sportler(innen) haben sich in der Trainingsendphase keine zusätzlichen Muskelreserven antrainiert. Während der durchschnittliche Lean-Body-Mass-Anteil beim Start bei den Männern 59,3 kg (86,8 %) betrug, kamen die Frauen auf 47,3 kg (80,2 %). Signifikante Veränderungen der fettfreien Körpermasse treten erst ab dem 11. Tag bei beiden Geschlechtern auf (Abb. 1 und 2).

Dabei nimmt die AKS der Männer von 59,3 kg auf 58,9 kg am 11. Tag ab, übertrifft jedoch bei Laufende mit 59,9 kg sogar den Ausgangswert, was einem nicht unerheblichen muskelanabolen Effekt zuzuschreiben ist. Die prozentuale aktive Körpersubstanz steigt sogar von 86,8 % über 88,1 % auf

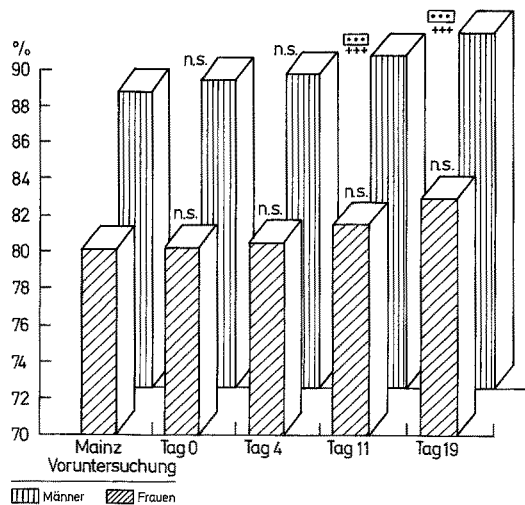


Abb. 1. Die Änderung der prozentualen Lean Body Mass (LBM). Die Differenzen sind bei: * signifikant zu Tag 0, ** sehr signifikant zu Tag 0, *** hochsignifikant zu Tag 0, + signifikant von Tag zu Tag, ++ sehr signifikant von Tag zu Tag, +++ hochsignifikant von Tag zu Tag.

89,4 % kontinuierlich an. Bei den Frauen ist dagegen keine signifikante Änderung der prozentualen aktiven Körpermasse zu registrieren. Die absolute Lean Body Mass fällt dagegen bis zur zeitlichen Laufmitte von

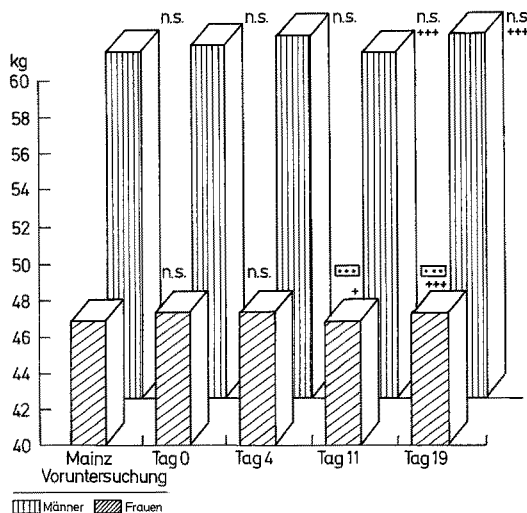


Abb. 2. Die Änderung der absoluten Lean Body Mass (LBM). Die Differenzen sind bei: * signifikant zu Tag 0, ** sehr signifikant zu Tag 0, *** hochsignifikant zu Tag 0, + signifikant von Tag zu Tag, ++ sehr signifikant von Tag zu Tag, +++ hochsignifikant von Tag zu Tag.

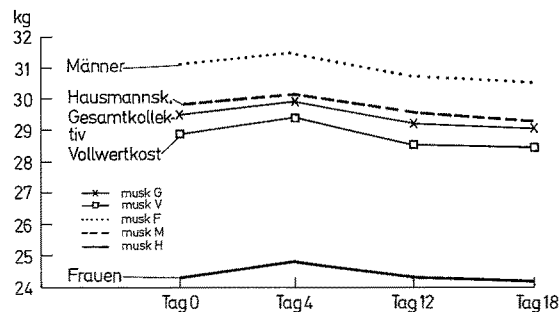


Abb. 3. Die Änderung der Muskelmasse nach dem 4-Kompartiment-Modell. Die Darstellung der Veränderung des Muskelkompartiments basiert auf Berechnungen mit dem Phantom Stratagem nach Drinkwater und Ross (1980).

47,3 kg auf 46,7 kg ab, um bis zum Zieleinlauf wieder auf 47,2 kg anzusteigen und ähnelt dabei dem Verlauf der Männer, denn auf initiale Abnahme bis zur Mitte des Laufs folgt ein konsekutiver Anstieg, wobei der anabole Effekt beim weiblichen Geschlecht jedoch nicht so ausgeprägt ist und der Ausgangswert nicht völlig erreicht wird.

In der Fraktionierung nach dem Vierkompartimentmodell folgt auf einen leichten Muskelmasseanstieg in den ersten 4 Tagen eine Abflachung bis zum 12. Tag, um dann stabil zu bleiben. Zum Schluß liegt die Muskelmasse sogar geringfügig unter dem Ausgangswert (Abb. 3).

Nähere Aufschlüsse über die topographische Dynamik geben Einzelmaße. Wenn man von den gemessenen Umfängen bzw. den aus ihnen berechneten Durchmessern den Anteil des subkutanen Fettgewebes subtrahiert, erhält man einen Hinweis auf den Muskel-Knochen-Anteil, wobei im Rumpfbereich auch noch Änderungen im Situs impliziert sind.

Die korrigierten Muskeldurchmesser sind in Abbildung 4, die korrigierten Muskelumfänge tabellarisch (Tab. 1) aufgeführt:

Bei den meisten korrigierten Maßen ist eine kontinuierliche, signifikante Reduktion der Muskulatur zu verzeichnen. Während des ganzen

Tab. 1. Tabelle der korrigierten Muskelumfänge.

in cm	Tag 0/1	Tag 4/5	Tag 11/12	Tag 19	Gesamtdifferenz
Oberarm	26,3	*	*	25,5	-0,8
Unterarm	24,3	24,0	23,9	23,6	-0,7
Oberschenkel	46,2	48,3	48,0	48,0	+1,8
Unterschenkel	34,9	*	34,6	*	-0,3
Brust	88,7	*	*	85,8	-2,9
Abdomen	73,8	73,1	72,2	71,4	-2,5

* keine signifikante Veränderung

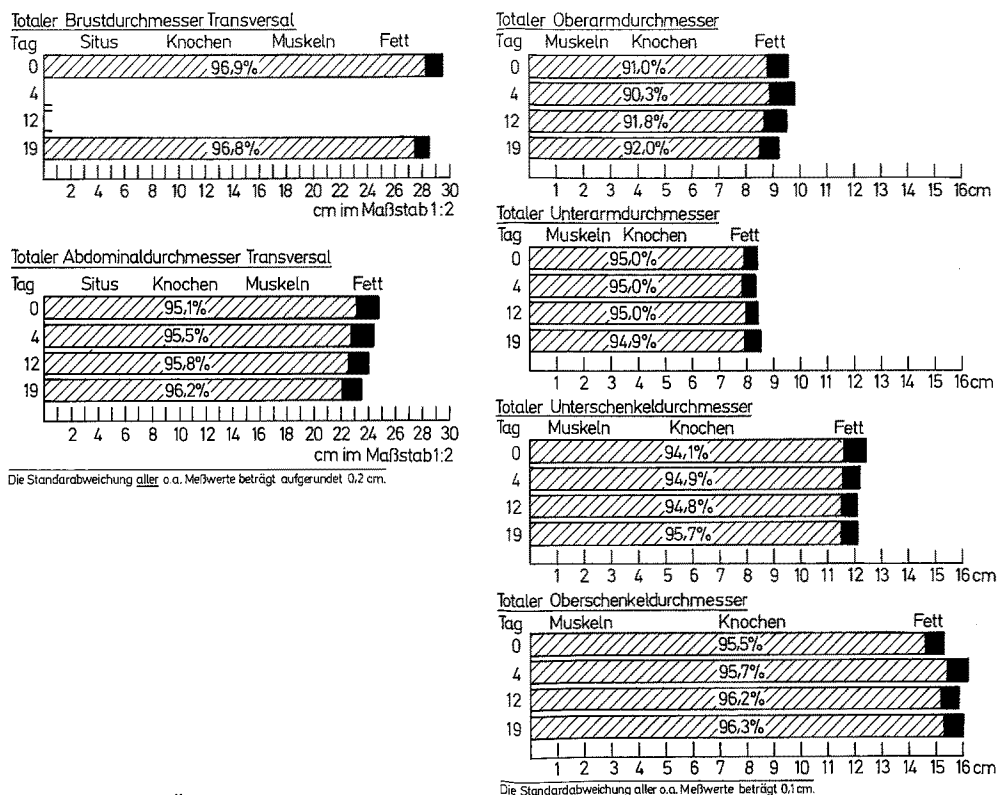


Abb. 4. Die Änderung der korrigierten Muskeldurchmesser.

Laufs findet lediglich beim Oberschenkelumfang entsprechend der Stelle der stärksten muskulären Beanspruchung eine deutliche Massezunahme um 1,8 cm statt, die bereits am 4. Tag deutlich auffiel und dann relativ konstant blieb.

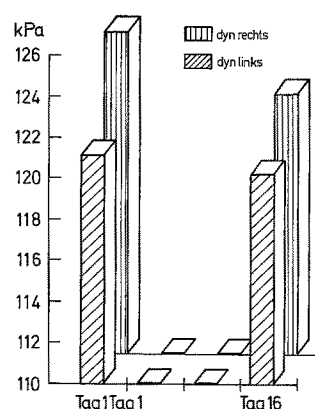
Aus dieser Beobachtung kann geschlossen werden, daß die Adaptationsreaktion des Körpers an die physische Belastung schon innerhalb der ersten Tage vollständig verläuft und die innerhalb gewisser physiologischer Grenzen möglichen körperlichen Anpassungsmöglichkeiten bereits während der ersten Tage erschöpft sind bzw. der Organismus nach vier Tagen die ökonomischste Reaktion auf die Ausdauersituation gefunden hat. Außerdem muß festgehalten werden, daß der Organismus unter der extremen Ausdauerbelastungssituation nicht nur auf die Fettdepots zurückgegriffen hat, sondern offensichtlich auch Muskelprotein abgebaut wurde bzw. an anderer Stelle dem Aufbau von Muskulatur diente.

Dynamometerwertänderungen während des Laufs waren dagegen statistisch nicht signifikant (Abb. 5). Das gleiche gilt für korrelative Bezüge zwischen Dynamometerwertänderungen und Abnahmen der Muskeldurchmesser, woraus zu folgern ist, daß der Muskelmasseverlust nicht unbedingt von einem meßbaren Kraftverlust begleitet zu sein braucht.

Tab. 2. Klinisch-chemische Parameter während des Laufs.

	Testosteron µg/dl	Kortisol ng/ml	Protein mg/dl	Harnstoff mg/dl	Harnsäure mg/dl	CK U/l	CKMB U/l
Tag 0	0,33	107	7,4	39,6	4,2	56,7	4,5
Tag 1	0,36	333	7,7	50,9	5,4	163,0	9,7
Tag 3	0,27	291	7,2	54,7	5,3	1186,3	31,8
Tag 6	0,26	241	7,0	44,2	4,8	781,5	25,5
Tag 8	0,27	192	7,0	42,5	4,7	657,2	22,5
Tag 11	0,30	189	7,2	48,1	4,5	557,0	19,6
Tag 19	0,27	202	7,1	49,0	4,5	402,3	17,7

Abb. 5. Die Änderung der Handkraft. Die Unterschiede von Tag 1 zu Tag 16 sind nicht signifikant! Dagegen sind die Rechts-links-Unterschiede sowohl an Tag 1 als auch an Tag 16 statistisch hochsignifikant verschieden.



2 Beziehungen zwischen anthropometrischen und blutchemischen Kenngrößen des Muskelstoffwechsels

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Testosteron- und Kortisolkonzentrationen, des Harnsäure- und Harnstoffspiegels sowie der Gesamtproteinkonzentration und der Muskelenzymwerte während des gesamten Ultralangstreckenlaufs:

Alle Parameter steigen bei Laufbeginn an und fallen ab dem 3. Lauftag (Hormone, Protein, Harnsäure), spätestens jedoch ab dem 6. Lauftag (Harnstoff, Enzyme). Die Differenzen zwischen dem Tag vor dem Lauf und dem 1. Tag zur Abschlußuntersuchung am 19. Lauftag sind jeweils hochsignifikant, die Differenzen zwischen den einzelnen Tagen jeweils zumindest signifikant.

Die Veränderungen können, wie die parallele Bestimmung von Hämatokrit und Elektrolyten zeigt, nicht auf Plasmavolumenänderungen zurückgeführt werden (Leitzmann et al. 1991).

Beim Testosteron fällt auf, daß es nach einem initialen Anstieg sogar auf Werte unter den Ruheausgangswert fällt.

Nach Metivier (1975) sind die Androgen- und Kortisolspiegel als Folge körperlicher Aktivität im allgemeinen erhöht, wie es sich auch bei den untersuchten Langstreckenläufern im vorliegenden Fall bis zum Tag 1 (Testosteron) und am ausgeprägtesten bis Tag 1 (Kortisol) zeigt. Die Normbereiche werden nie überschritten.

Der dann folgende Abfall des Testosterons entspricht Befunden anderer Untersucher (Galbo et al. 1977; Schmid et al. 1981), die nach einem leichten Anstieg der Testosteron-Konzentration einen anschließenden länger dauernden Abfall fanden. Strauzenberg et al. (1990) werten den über mehrere Tage nach erschöpfenden Langzeitausdauerleistungen beobachteten Abfall des Testosteronspiegels als Ausdruck eines hohen metabolen Testosteronbedarfs für den anabolen Prozeß der Wiederherstellung.

Der in der vorliegenden Studie beobachtete kontinuierliche Abfall des Testosterons mit nochmaligem Anstieg bei Laufmitte stellt sich möglicherweise als das Ergebnis zweier gegenläufiger Mechanismen dar: zum einen der noch aus der Anfangsphase resultierende Abfall als Ausdruck

des bekannten anabolen Verbrauchs, zum anderen der immer weiter durch fortgesetzte Belastung induzierte Anstieg.

Auch die Gesamtproteinkonzentration sinkt nach initialem Anstieg nach dem 1. Lauftag kontinuierlich auf Werte unterhalb des Ausgangswertes ab, was unter Vorkenntnis der bereits beschriebenen anthropometrischen Veränderungen mit einer katabolen Stoffwechsellaage vereinbar ist. Die Veränderungen einzelner Elektrophoreseparameter, der Immunglobuline, des Albumins, Transferrins, C-reaktiven Proteins und des Hämatokrits während des Laufs wurden von Leitzmann et al. (1991) untersucht und sind weniger auf die in der vorliegenden Arbeit behandelten metabolischen Regulationsprozesse, sondern eher auf die infolge laufinduzierter Muskel- und Bindegewebstraumatisierung hervorgerufenen Abwehrmechanismen der humoralen Abwehr zurückgeführt worden (Leitzmann et al. 1991). Während nach Läufen über die Marathonstrecke oder 100-km-Distanz (Liesen et al. 1977; Weber 1977) der Plasmaproteinspiegel ansteigt, scheint sich dieser Effekt beim Überschreiten dieser Distanzen wie im vorliegenden Beispiel eines mehrtägigen Ultralangstreckenlaufs durch eine eher katabole Stoffwechsellaage ins Gegenteil umzukehren.

Bei den Enzymen fällt ein gewaltiger Anstieg der CK auf das 20fache des Ausgangswerts am 3. Tage auf. In der einzigen vergleichbaren Studie fanden Israel et al. (1976) bei einem 88-km-Lauf einen Aktivitätsanstieg der CPK auf das 10fache des Ausgangswerts. Die CKMB steigt demgegenüber lediglich auf das 6fache des Nullwertes an. Die Werte beider Enzyme liegen zuletzt immer noch deutlich über der Normbereichsgrenze.

Auch der Harnsäurespiegel fällt nach initialem Anstieg kontinuierlich ab. Der Harnstoffspiegel sinkt nach anfänglicher Erhöhung bis zur Laufmitte und steigt dann auf Werte, die bis zum Laufende auf der gleichen Ebene liegen. Beide erreichen nicht mehr den Ausgangswert. Nach Liesen et al. (1978) erhöht sich der Harnstoffspiegel bei Langzeitausdauerbelastung stark, wobei auch nach Sistieren der körperlichen Tätigkeit noch mit einem weiteren Harnstoffanstieg zu rechnen ist und sogar am folgenden Tag noch der Normbereich überschritten werden kann. In der vorliegenden Untersuchung liegt der Harnstoff nur am dritten Tag deutlich über der Normbereichsgrenze und am 1. Tag im Übergangsbereich zum Pathologischen. Ohne kompensatorischen Clearance-Mechanismus für Langzeitausdauerbelastungen, der bisher noch nicht bekannt war, hätte der Harnstoff sonst kontinuierlich weiter ansteigen müssen. Der belastungsinduzierte Harnsäureanstieg wird einerseits auf eine reduzierte Harnsäureclearance infolge einer vermehrten Laktat- und Ketonkörperbildung, andererseits aber auch auf einen vermehrten Purinabbau zurückgeführt (Lun et al. 1975). Die Harnsäurekonzentration in der vorliegenden

Tab. 3: Bezüge zwischen Änderungen der Harnsäure- und Harnstoffkonzentration und anthropometrischen Kenngrößen.

Parameter	Harnsäure	Harnstoff
Oberarmdurchmesser	$r = 0,2 \quad p < 0,05$	$r = 0,3 \quad p < 0,05$
Abdominaldurchmesser	$r = 0,4 \quad p < 0,01$	$r = 0,2 \quad p < 0,05$
Brustdurchmesser	$r = 0,3 \quad p < 0,05$	$r = 0,2 \quad p < 0,05$

Studie verbleibt stets im Normbereich und fällt nach initialem Anstieg kontinuierlich ab. In der Synopsis der Veränderungen der blutchemischen Kenngrößen ist insgesamt ein ähnlicher Trend wie bei den sportanthropometrischen Variablen zu registrieren:

Die physiologische Adaptationsreaktion an die Ultralangstreckenlaufanforderungen vollzieht sich fast vollständig innerhalb der ersten Tage, d. h. zwischen 1. und 6. Tag. Während dieses Zeitraums werden die höchsten Normwertabweichungen aller gemessenen Parameter registriert.

Nach überschießenden Reaktionen pendelt sich der Metabolismus wieder ein, wobei beim Testosteron eine Hyperregulation unter den Ausgangswert zu verzeichnen ist, wogegen CK und CKMB um etwa das 8fache bzw. 4fache des Ursprungswerts und Kortisol noch um 100 % erhöht bleiben. Die Retentionswerte und das Protein bewegen sich demgegenüber nur innerhalb der Normmeßbereichsgrenzen.

Zum Erfassen direkter mutueeller Interdependenzen wird zwischen den Differenzen der erhobenen Parameter der Korrelationskoeffizient berechnet.

Bezüglich der Korrelationen ausgewählter biochemischer und anthropometrischer Merkmale des Muskelstoffwechsels ergeben sich dann folgende wichtige signifikant korrelierende Befunde:

1. Der Oberschenkeldurchmesser nimmt in der Anfangsphase des Laufs zu, der Harnstoffspiegel dagegen im gleichen Zeitraum nach initialem Anstieg ab ($r = -0,26$; $p < 0,05$), was die Schlußfolgerung zuließe, daß die anabole Entwicklung des Oberschenkels nicht zu Lasten eines Proteinabbaus anderer Muskeln geht.
2. Die hohe mechanische Beanspruchung der Oberschenkelmuskeln kommt dagegen in der Beziehung zu den CK- und CKMB-Anstiegen zur Geltung ($r = 0,2$; $r = 0,3$; $p < 0,05$).
3. Die parallele Reduktion der Harnstoff- und Harnsäurespiegel (Tab. 3) nach anfänglichem Anstieg zu vielen korrigierten Muskelmaßen ist dagegen, wie bereits weiter oben aufgeführt, möglicherweise als ein spezieller, überschießender, laufadaptiver Clearance-Mechanismus zur Entfernung potentiell toxischer Substanzen zu verstehen, der in erster Linie bei Ultralangstreckenläufen zum Tragen käme.

Andernfalls müßten mit dem kontinuierlichen Muskelabbau nicht nur im ersten Drittel des Laufs, sondern vor allem während der folgenden Tage mit der weiteren Reduktion der anthropometrischen Maße auch die terminalen Abbauprodukte bzw. Retentionswerte weiter ansteigen oder zumindest auf gleicher Konzentrationsstufe bestehenbleiben. Diese Phänomene zeigen auch Untersuchungen anderer Autoren unter weniger exzessiven Ausdauerbelastungen (Liesen et al. 1978 und Lun et al. 1975).

4. Zwischen Veränderungen endokriner Parameter und anthropologischer Muskulatur-Indikatoren konnten keine richtungsweisenden Beziehungen gesichert werden.

3 Beziehungen zwischen anthropometrischen Kenngrößen und den Ergebnissen der Verzehrerhebung

Die durchschnittliche Proteinaufnahme pro Tag lag bei 117,3 g. Diese Menge entspricht einem prozentualen Anteil von 11,9 % und übertrifft

dabei den ursprünglich geschätzten Anteil einer idealen Nährstoffrelation von 10 % für das Protein, liegt aber unter dem hohen Wert von 15 % nach Empfehlungen von Donath/Schüler (1985) und 13 % nach Strauzenberg et al. (1990) für alle Ausdauersportarten, wobei Nöcker (1987) für 6-Tage-Rennfahrer sogar einen Wert von 17,2 % angab.

Bei einem Gruppendurchschnittsgewicht von 69,5 kg beträgt somit die durchschnittliche tägliche Proteinzufuhr pro kg Körpergewicht 1,7 g und liegt damit im mittleren Bereich der in der Tabelle 4 aufgelisteten Empfehlungen für Ausdauersportler:

Tab. 4. Literaturübersicht zur empfohlenen Eiweißzufuhr.

Autor(en)	g/kg KG tägliche Eiweißzufuhr	
Taylor (1982)	mindestens	1
Nöcker (1980)		1,2
Saltin/Karlsson (1986)		1,2 bis 1,5
Prokop (1983)		1,4 bis 1,6
Konopka (1983)		1,5 bis 2,5
Schneider et al. (1980)		2,0 bis 2,6
Donath/Schüler (1985)		3,1

Bei der Berechnung des Korrelationskoeffizienten zwischen den Differenzen der anthropometrischen Merkmale und der individuellen kumulativen Eiweißzufuhr – dasselbe Resultat ergibt sich aus mathematischen Gründen bei der Korrelation zwischen individueller durchschnittlicher täglicher Proteinzufuhr und den Differenzen der morphologischen Parameter – zeigt sich das folgende Bild:

Zwischen kumulativer Proteinaufnahme und Abnahme des AKS-Index ab 11. Tag ($r = -0,43$, $p < 0,001$) und über die gesamte Distanz ($r = -0,5$; $p < 0,001$) findet man nur hochsignifikant negative Bezüge.

Ebenso ergeben sich negative Korrelationen zwischen Eiweißaufnahme und den korrigierten Muskeldurchmessern für Brust ($r = -0,33$; $p < 0,01$) und unteren Rumpfabschnitt ($r = -0,3$; $p < 0,05$).

Die gefundenen signifikanten bis hochsignifikanten korrelativen Bezüge entsprechen vollkommen den gehegten Erwartungen, denn die Berechnungen demonstrieren einen negativen Zusammenhang von Muskelsubstanzverlust und Proteinzufuhr:

Der individuelle Muskelmasseverlust fällt um so niedriger aus, je mehr Eiweiß während des Laufs zugeführt wurde.

Möglicherweise ließe sich also durch eine Erhöhung der individuellen Proteinzufuhr von 11 % prozentualem Nährstoffrelationsanteil auf die in der Literatur geforderten 15 % eine Muskelmassereduktion weiter einschränken.

Noch wichtiger erscheint aber eine Anhebung der absoluten Eiweißzufuhr von 1,7 g pro kg KG auf die höheren Empfehlungen von 2,0 bis 2,6 g/kg KG nach Schneider et al. (1980), denn die zuletzt niedrigeren Protein- und Testosteronspiegel bei gegenüber den Ausgangswerten erhöhten

Retentionswerten und Kortisol-Konzentrationen deuten neben der anthropometrisch erfaßten Muskelmassereduktion auf eine katabole Stoffwechsellage, die Laufleistung und Gesundheit abträglich sein dürfte, wie es auch eine hohe Inzidenz bronchialer Infekte zum Laufende hin signalisierte.

Einige Proteinzufuhrempfehlungen erscheinen für den Ultralangstreckenlauf zu niedrig. Die Empfehlungen zur absoluten Energiezufuhr im Ultralangstreckenlauf entsprachen dagegen den von Plath et al. (1989 und 1991) beschriebenen Resultaten.

Literatur

- Beyer D, Beyer HG (1985) Mikrocomputerprogramme zur Erstellung von Nährwertberechnungen am Beispiel des dialogorientierten Programms DIÄT-2000. Ern Umschau 32 (Sonderheft), S 102-105
- Beyer HG (1987) DIÄT-2000 Anleitungsbuch; DIÄT-2000 Kurzanleitung. Fa Soft u Hard, Rimbach
- Donath R, Schüler K-P (1985) Ernährung der Sportler. Sportverlag, Berlin
- Drinkwater JT, Ross WD (1980) Anthropometric fractionation of body mass. In: Ostyn, Beunen, Simons (eds) Kinanthropometry II. University Press, Baltimore, pp 178-189
- Galbo H, Hummer L, Petersen IB, Christensen NJ, Bie N (1977) Thyroid and testicular hormone responses to graded and prolonged exercise in man. Europ J Appl Physiol 36:101
- Israel S, Scheibe J, Köhler E, Stumpe H (1976) Enzymaktivitäten im Serum nach einem 88-km-Lauf. Med u Sport 11:363
- Knussmann R (1988) Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen. Bd. I: Wesen und Methoden der Anthropologie. G. Fischer Verlag, Stuttgart New York
- Konopka P (1983) Sport – Ernährung und Leistung. Wander GmbH, Osthofen
- Leitzmann M, Jung K, Seiler D (1991) Effects of an extreme physical endurance performance on selected plasma proteins. Int J Sports Med 12
- Liesen H, Dufaux B, Hollmann W (1978) Ausdauertraining und natürliche Proteinaseinhibitoren: Der Einfluß auf die Plasmavolumenregulation in Ruhe und bei dosierter körperlicher Belastung. Dtsch Z Sportmed 29:37
- Liesen H, Mader H, Heck H, Hollmann W (1977) Die Ausdauerleistungsfähigkeit bei verschiedenen Sportarten unter besonderer Berücksichtigung des Metabolismus zur Vermittlung der optimalen Belastungsintensität im Training. Leistungssport Suppl 9:63
- Lun A, Friedemann H, Hoffmann H-D, Wagenknecht C (1975) Veränderungen der Serum-Harnsäure und Fahrradergometerbelastung bei untrainierten und trainierten Männern. Med u Sport 15:229
- Metivier G (1975) The effects of long lasting physical exercise and training on hormonal regulation. In: Howald H, Poortmans JR (eds) Metabolic adaption to prolonged physical exercise. Birkhäuser, Basel, pp 276-292
- Nöcker J (1980) Physiologie der Leibesübungen für Sportlehrer, Trainer, Sportstudenten, Sportärzte. Enke Verlag, Stuttgart
- Nöcker J (1987) Die Ernährung des Sportlers. Hofmann-Verlag, Schorndorf
- Parizkova J (1977) Body fat and physical fitness. Martinus Nijhoff BV/Medical Division. The Hague
- Parizkova J, Buzkova P (1971) Relationship between skinfold thickness measured by Harpenden caliper and densitometric analysis of total body fat in men. Human Biology 43:16-21

- Plath M, Eisinger M, Raschka C, Jung K, Leitzmann C (1989) Energy intake of long distance runners during a 20 day road race. 14th International Congress of Nutrition, Seoul, Korea
- Plath M, Raschka C, Eisinger M, Borgs H, Jung K, Leitzmann C (1991) Endurance sport and nutrition – energy turnover of long-distance runners. *Int J Sports Med* 12
- Prokop L (1983) Einführung in die Sportmedizin für Ärzte, Sportler und Übungsleiter. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart New York
- Raschka C, Bernhard W, Jung K (1991) Sportsanthropological and morphological studies of ultra-long-distance runners. *Int J Sports Med* 12:90
- Raschka C, Bernhard W, Jung K, Plath M, Leitzmann C (vorgesehen 4/1991) Das Körperfettkompartiment und seine Beziehungen zu Nahrungsaufnahme und Blutchemie unter einer extremen Ausdauerbelastung. *Schweiz Z Sportmedizin*
- Saltin B, Karlsson J (1986) Die Ernährung des Sportlers. In: Hollmann W (Hrsg) Zentrale Themen der Sportmedizin. S 245–259. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
- Schmid P, Wolf W, Schwaberg G, Pessenhofer H (1981) FSH, LH, Testosteron, Östradiol, Prolactin und Progesteron bei Männern unter maximalen und submaximalen Belastungen. Teil 1: FSH, LH, Testosteron. *Österr J Sportmed* 11, Heft 4:9
- Schneider F, Zerbes H, Schüler K-P, Hötte H-C, Schmitz E, Kühne K (1980) Kohlenhydrate in der Ernährung des Sportlers und ihre Wirkung auf die Leistungsfähigkeit. *Med u Sport* 20(9):257–261
- Sloan AW, Burt JJ, Blyth CS (1962) Estimation of body fat in young women. *J Appl Physiology* 17(6):967–970
- Strauzenberg SE, Gürtler H, Hannemann D, Tittel K (1990) Sportmedizin. JA Barth, Leipzig
- Taylor WN (1982) Marathon running. McFarland + Comp, North Carolina
- Tittel K, Wutscherk H (1972) Sportanthropometrie. Barth, Leipzig
- Weber K (1977) Das Verhalten verschiedener Plasmaproteine nach extremen Dauerlaufleistungen über die Marathonstrecke sowie über 100 km. *Med Diss Köln*

Eingegangen 31. Januar 1991
akzeptiert 28. Juni 1991

Für die Verfasser:

Dr. med. Dr. rer. nat. Christoph Raschka, Edith-Stein-Str. 34, 6415 Petersberg 1