

Z. Ernährungswiss. 14, 272–285 (1975)

*Medizinische Klinik mit Poliklinik der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Professor Dr. L. Demling)
Forschungsabteilung für Ernährung und Stoffwechselkrankheiten
(Vorsteher: Professor Dr. Dr. h. c. G. Berg)*

Elektrolytverhalten im Hungerstoffwechsel*)

R. Kellner und G. Berg

Mit 9 Abbildungen

(Eingegangen am 26. Mai 1975)

Einleitung

Mehrere klinische Studien haben gezeigt, daß Fettsüchtige totales Fasten über längere Zeit gut vertragen können (4, 5, 9, 10, 11, 12, 15). Dabei treten Änderungen im Stoffwechsel auf, wie gesteigerter renaler Stickstoffverlust (13), Ketoazidose (5, 11), Hyperurikämie (5, 11), Erhöhung der freien Fettsäuren im Blut (12, 15), Besserung der Glukosetoleranz, Natriurese (21), Mineralverluste (6, 7).

Gefahren für den Patienten können vor allem durch Eiweiß- und Elektrolytverluste entstehen. Obwohl dem Organismus ausgezeichnete Regulationsmechanismen zur Verfügung stehen, wie Einsparung von Mineralien, Beschränkung der Katabolie auf ein Minimum, müssen die Parameter des Eiweiß-, Wasser-, Elektrolyt- und Säure-Basen-Haushalts bei therapeutischer Anwendung des Fastens regelmäßig kontrolliert werden.

Kenntnisse über Elektrolytbedarf und Elektrolytveränderungen sind deswegen bei der Therapie der Fettsucht mit komplettem Fasten Voraussetzung.

Eine dem totalen Fasten ähnliche Situation findet man häufig bei Schwerstkranken. Die bei Fastenden gewonnenen Erkenntnisse können deshalb auch für die Therapie im Rahmen der parenteralen Ernährung genutzt werden.

Methodik

Bei zwei Gruppen von je zehn Patienten wurde eine 14tägige Null-Kalorien-Diät durchgeführt. Sie erhielten Flüssigkeit ad libitum in Form eines Mineralwassers, welches folgende Elektrolytzusammensetzung aufwies:

In 1 Liter sind enthalten:

Kationen:	Natrium	26,20 mval
	Kalium	0,71 mval
	Magnesium	4,37 mval
	Kalzium	6,09 mval
Anionen:	Chlor	4,25 mval
	Sulfat	1,36 mval
	Bikarbonat	31,90 mval

*) Vortrag auf dem Symposium „Kohlenhydrate und Elektrolyte in der parenteralen Ernährung“ am 25. 4. 1975 in Erlangen.

Ferner sind darin Spuren von Ammoniak, Mangan und Eisen sowie von Nitrat und Sulfat enthalten.

Der pH-Wert des Mineralwassers beträgt 6,4.

Bei allen Patienten wurden tägliche Elektrolytbestimmungen im Serum und Urin vorgenommen. Das Körpergewicht wurde täglich morgens bestimmt und die Flüssigkeitszufuhr und Urinausscheidung für 24 Stunden quantitativ gemessen.

Die erste Gruppe der Patienten (10 Patienten) erhielt allein das Mineralwasser, der zweiten Gruppe (10 Patienten) wurden zusätzlich 80 mval Kalium pro Tag in Form einer Brausetablette verabreicht.

Die Elektrolytbilanz wurde unter Berücksichtigung von oraler Zufuhr, Urinausscheidung, Schweißverlust (0,5 l/Tag) sowie des geschätzten Verlustes durch den Darm ermittelt. Das tägliche Stuhlgewicht wurde mit einem Drittel des Normalstuhlgewichts angenommen. Die statistische Überprüfung erfolgte mit dem Kolmogoroff-Smirnow-Test. Wenn eine Normalverteilung vorlag, wurde das arithmetische Mittel, sonst der Median und die 95 %-Vertrauensgrenze angegeben.

Ergebnisse

Gewichtsabnahme

Das 14tägige Fasten führte bei allen Patienten unabhängig von der Kaliumzufuhr zu einer durchschnittlichen Gewichtsabnahme von 593 g/Tag (Abb. 1 a und 1 b).

Urinmenge

In der Gruppe ohne Kaliumzufuhr betrug die Urinausscheidung 1,41 l/Tag \pm 0,16; in der Gruppe mit Zufuhr von 80 mval Kalium pro Tag 1,63 l/Tag \pm 0,13 (Abb. 2 a und 2 b).

Natrium- und Kaliumverhalten

a) Serumspiegel:

Während des 14tägigen Fastens kam es zu keiner Veränderung des Serumnatrium- und Serumkaliumspiegels, unabhängig von der Kaliumzufuhr. Bei keiner der täglich vorgenommenen Einzelmessungen konnte ein Wert außerhalb des Normbereichs festgestellt werden (Abb. 3 a und 3 b).

b) Urinausscheidung:

Die Natriumausscheidung lag während der gesamten Fastenperiode unter der unteren Normbereichsgrenze von 175 mval/Tag. Sie fiel bis zum 6. Tag exponentiell ab und näherte sich anschließend einem Wert von 20 mval/Tag. Die tägliche Natriumausscheidung betrug 29,1 mval (Abb. 4 a).

Beim täglichen Zusatz von 80 mval Kalium stieg die Natriumausscheidung im Urin an, blieb aber auch unter der unteren Normgrenze von 175 mval/Tag. Nach einem exponentiellen Abfall bis zum 6. Tag stellte sich die tägliche Ausscheidung bei etwa 40 mval Natrium pro Tag ein. Der Median der täglichen Ausscheidung betrug 47,5 mval (Abb. 4 b).

Die Kaliumausscheidung im Urin lag während der gesamten Fastenperiode unter dem unteren Normwert von 65 mval/Tag. Sie fiel nur geringfügig von einem Ausgangswert von 42 mval/Tag auf Werte un-

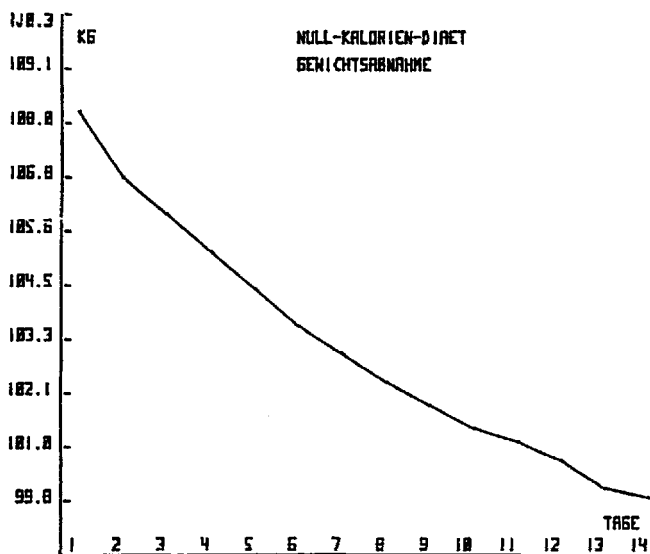


Abb. 1a

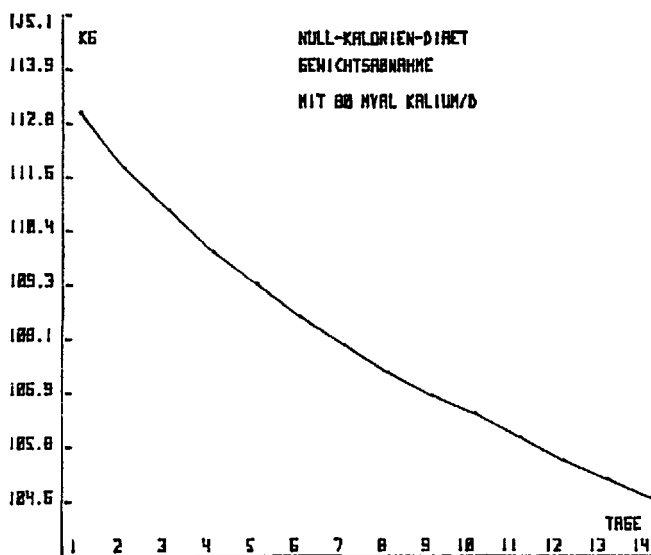


Abb. 1b

Abb. 1a und 1b. Durchschnittliche Gewichtsabnahme bei 14tägiger Null-Kalorien-Diät ohne und mit Kaliumzufuhr

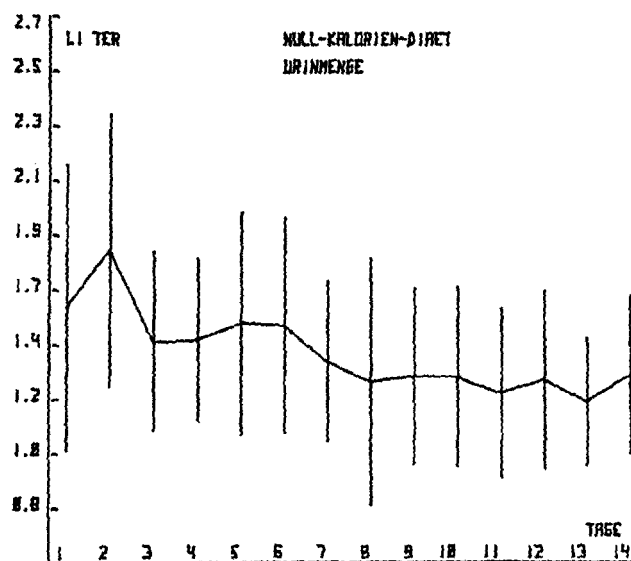


Abb. 2a

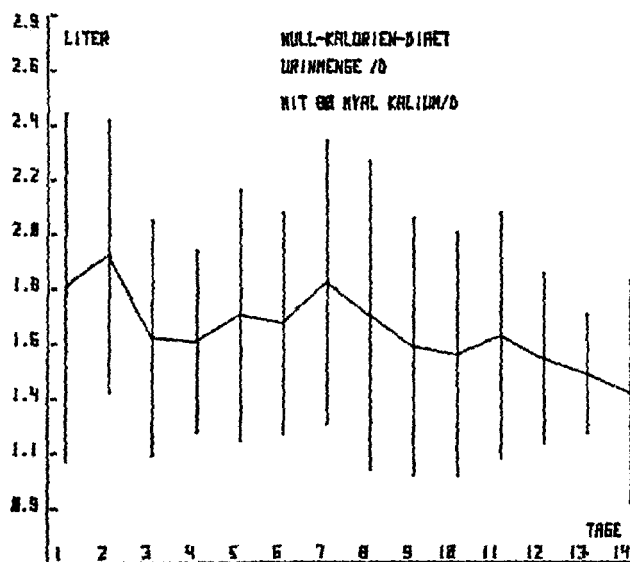


Abb. 2b

Abb. 2a und 2b. Durchschnittliche tägliche Urinmenge bei 14tägiger Null-Kalorien-Diät ohne und mit täglicher Zufuhr von 80 mval Kalium

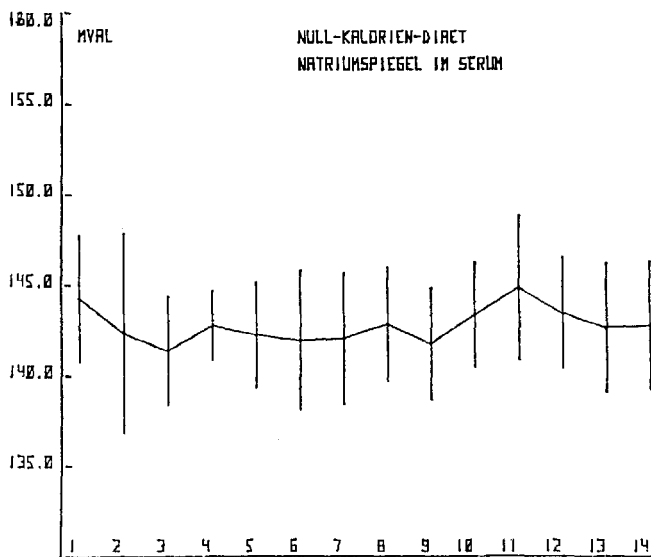


Abb. 3a

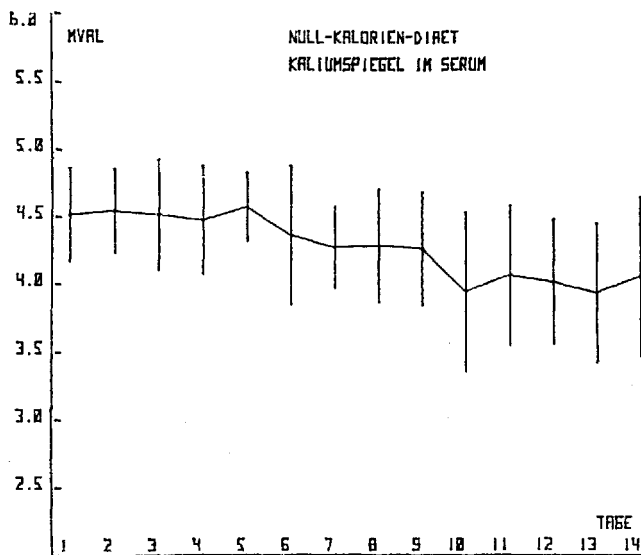


Abb. 3b

Abb. 3 a und 3 b. Natrium- und Kaliumspiegel im Serum bei 14tägiger Null-Kalorien-Diät

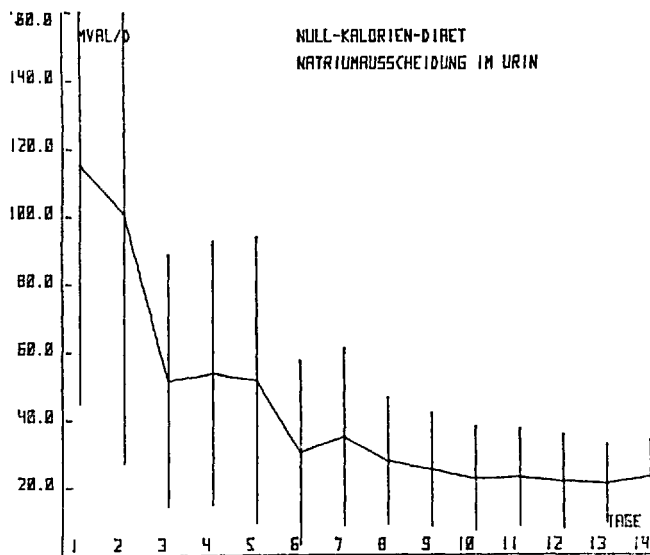


Abb. 4a

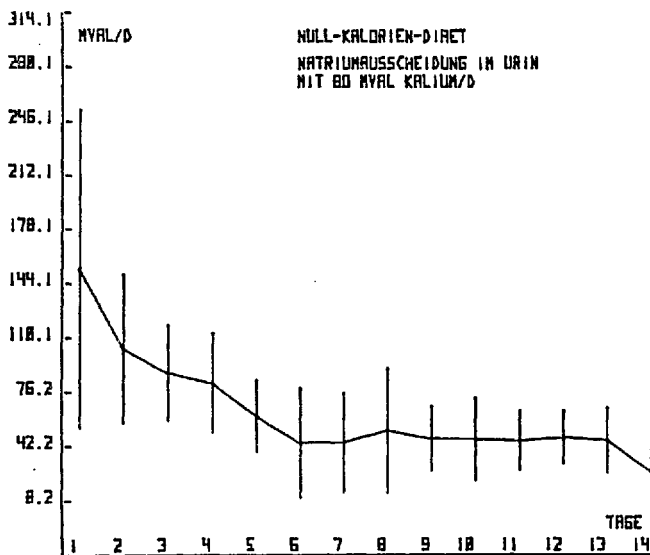


Abb. 4b

Abb. 4a und 4b. Natriumausscheidung im Urin bei 14tägiger Null-Kalorien-Diät ohne und unter Zufuhr von 80 mval Kalium pro Tag

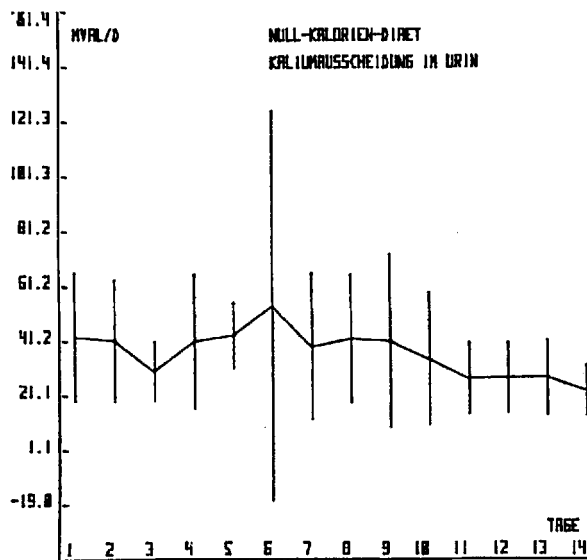


Abb. 5a

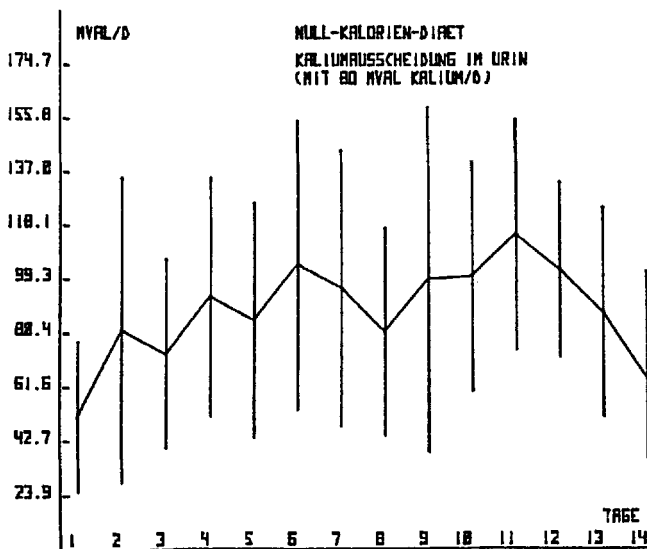


Abb. 5b

Abb. 5 a und 5 b. Kaliumausscheidung im Urin bei 14tägiger Null-Kalorien-Diät ohne und unter Zufuhr von 80 mval Kalium pro Tag

ter 30 mval/Tag ab dem 10. Tag ab. Der Mittelwert der täglichen Kaliumausscheidung betrug $36 \text{ mval} \pm 8,5$ (Abb. 5 a).

Unter täglicher Zufuhr von 80 mval/Tag stieg die Kaliumausscheidung auf Normalwerte an. Der Mittelwert betrug $88,2 \text{ mval/Tag} \pm 17$. Damit blieb sie knapp unter dem oberen Normwert für die tägliche Kaliumausscheidung von 90 mval (Abb. 5 b).

c) Bilanz:

Bei der quantitativen Abschätzung des Natriumhaushalts ließ sich ein täglicher Natriumverlust von 9 mval errechnen. Dies entsprach einem Verlust von 126 mval in 14 Tagen. Der Natriumverlust stieg unter der gleichzeitigen Gabe von 80 mval Kalium auf 26 mval/Tag, in 14 Tagen also auf 364 mval, an.

Die unter den gleichen Bedingungen durchgeführte Kaliumbilanz ergab bei praktisch kaliumfreier Mineralwasserzufuhr über 14 Tage einen täglichen Verlust von 34,9 mval, in 14 Tagen von 488,6 mval. Bei gleichzeitiger Substitution von 80 mval Kalium pro Tag ließ sich ein täglicher Kaliumverlust von 12,8 mval, insgesamt in 14 Tagen von 180 mval, nicht umgehen. Bei einem geschätzten Gesamtkaliumbestand von 3000 mval wurde also unter kaliumfreiem Fasten ein Sechstel des Gesamtbestandes, unter Zulage dagegen nur ein Sechzehntel ausgeschieden.

Kalzium und anorganisches Phosphat

a) Serumspiegel:

Die Serumspiegel von Kalzium und Phosphat blieben unabhängig von der Kaliumzufuhr stets im Normbereich (Abb. 6 a und 6 b).

b) Urinausscheidung:

Die tägliche Urinausscheidung von Kalzium lag im Normbereich (5–20 mval/Tag). Der Mittelwert betrug $7,98 \text{ mval/Tag} \pm 0,9$. Auch unter der Substitution von 80 mval Kalium pro Tag lag die tägliche Kalziumausscheidung im Normbereich. Der Mittelwert betrug $7,6 \text{ mval/Tag} \pm 0,735$ (Abb. 7 a und 7 b).

Die Phosphatausscheidung im Urin bewegte sich bis zum 11. Fastentag an der unteren Normgrenze von 0,5 g pro Tag. Vom 11. bis zum 14. Tag wurde eine verminderte Phosphatausscheidung gemessen. Der Mittelwert betrug $0,56 \text{ g/Tag} \pm 0,19$ (Abb. 8 a). Die Verabreichung von 80 mval Kalium pro Tag erbrachte ähnliche Ergebnisse. Bis zum 9. Tag bewegte sich die Ausscheidung an der unteren Normgrenze. Ab dem 10. Tag wurde eine verminderte Ausscheidung von Phosphat im Urin gemessen. Der Mittelwert betrug $0,51 \text{ g/Tag} \pm 0,12$ (Abb. 8 b).

c) Bilanz:

Die tägliche Kalziumbilanz betrug bei unseren Probanden ohne Kaliumzufuhr $\pm 4,4 \text{ mval/Tag}$, das entspricht in 14 Tagen $\pm 61,7 \text{ mval}$. Bei Gabe von 80 mval Kalium/Tag stieg sie auf $\pm 6,9 \text{ mval}$, in 14 Tagen auf $+ 97,2 \text{ mval}$.

Die Phosphatbilanz betrug bei Patienten ohne Kaliumzufuhr $-8,7 \text{ mval/Tag}$, in 14 Tagen $-122,6 \text{ mval}$. Unter Gabe von 80 mval Kalium pro Tag betrug die Bilanz $-6,5 \text{ mval}$, in 14 Tagen $-97,5 \text{ mval}$.

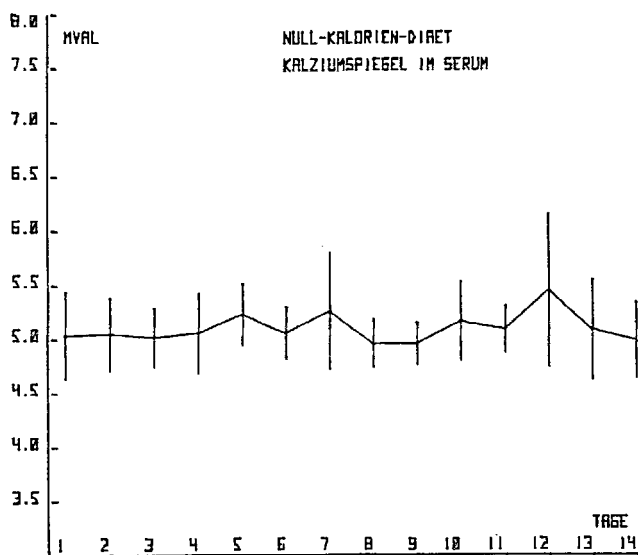


Abb. 6a

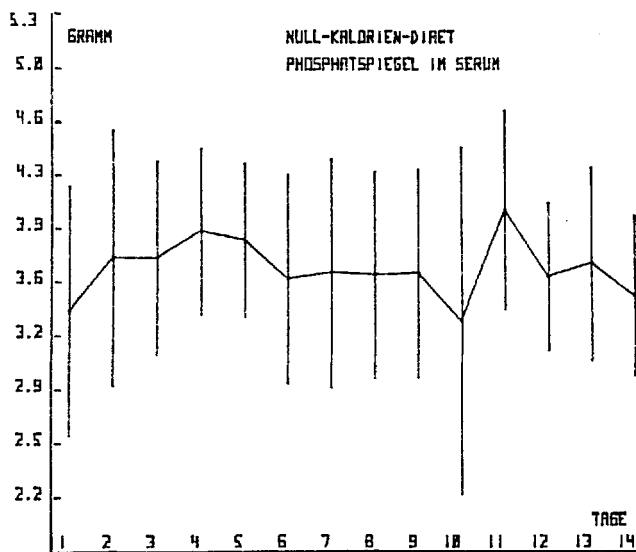


Abb. 6b

Abb. 6 a und 6 b. Kalzium- und Phosphatspiegel im Serum unter 14tägiger Null-Kalorien-Diät

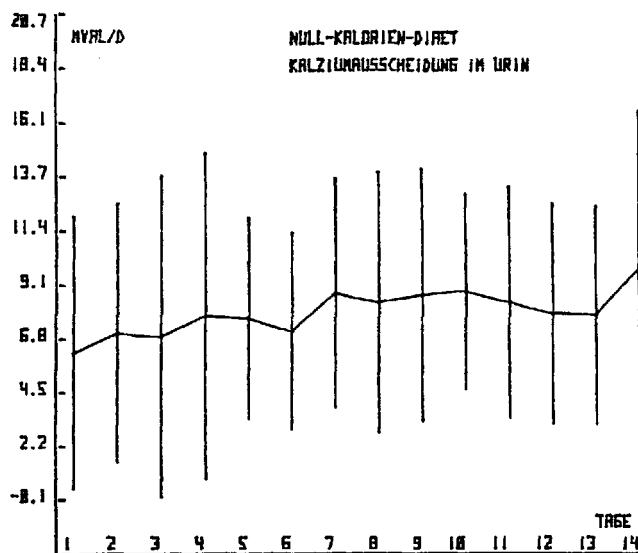


Abb. 7a

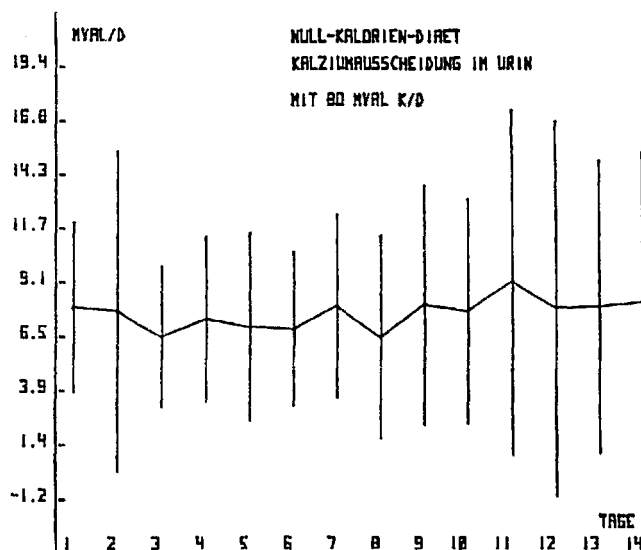


Abb. 7b

Abb. 7 a und 7 b. Kalziumausscheidung im Urin unter 14tägiger Null-Kalorien-Diät ohne und unter Zufuhr von 80 mval Kalium pro Tag

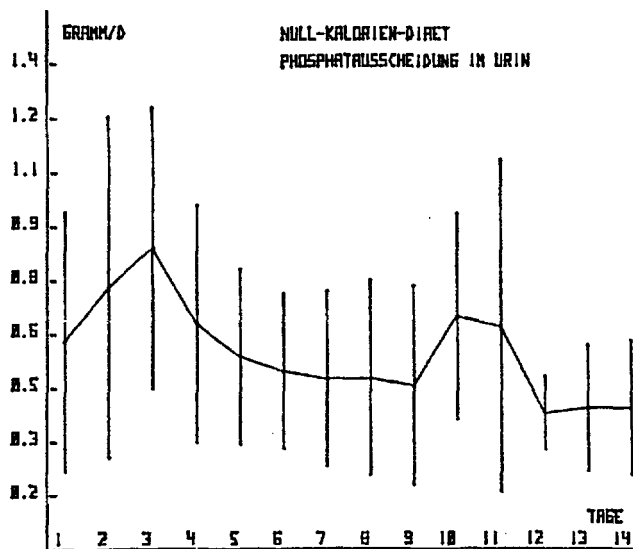


Abb. 8a

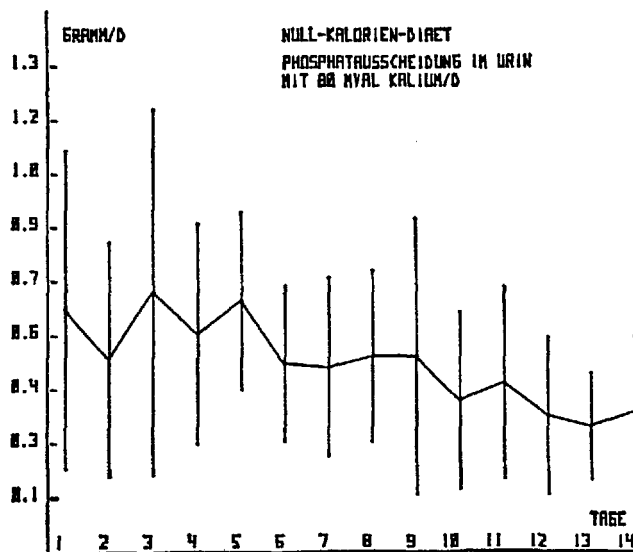


Abb. 8b

Abb. 8 a und 8 b. Phosphatausscheidung im Urin unter 14tägiger Null-Kalorien-Diät ohne und unter Zufuhr von 80 mval Kalium pro Tag

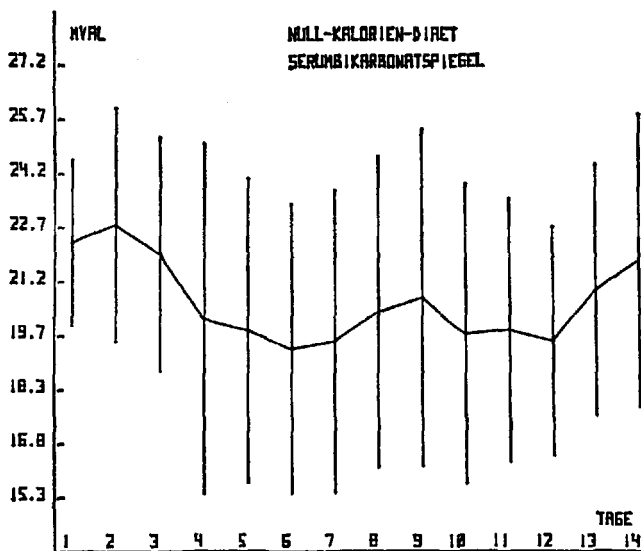


Abb. 9a

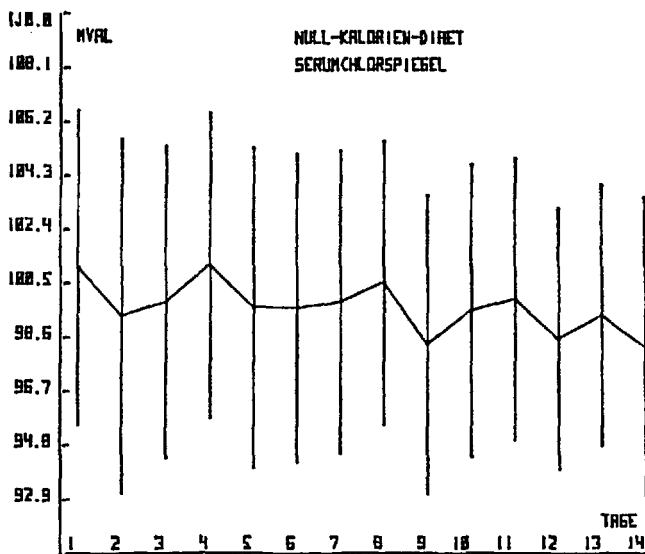


Abb. 9b

Abb. 9 a und 9 b. Serumbikarbonatspiegel und Serumchlorspiegel unter 14tägiger Null-Kalorien-Diät

Bikarbonat

Entsprechend der im Hungerzustand zu erwartenden Azidose kam es bei den Probanden ab dem dritten Fastentag zu einem Absinken des Serumbikarbonatspiegels vom Ausgangswert 22 mval auf Werte zwischen 19 und 22 mval (Abb. 9 a).

Chlorid

Der Serumchlorspiegel blieb während der ersten acht Tage im unteren Normbereich, ab dem neunten Fastentag im untersten Normbereich. Am 14. Fastentag wurde bei 10 Patienten ein durchschnittlich erniedrigter Serumchlorspiegel von 98 mval gemessen (Abb. 9 b).

Diskussion

Die erhobenen Befunde bestätigen die metabolischen Veränderungen im Hungerstoffwechsel. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, daß unter der Substitution von 80 mval Kalium pro Tag zwar das Elektrolytprodukt von Natrium und Kalium konstant bleibt, jedoch die Ausscheidung von Natrium von 29 mval/Tag auf 47,5 mval/Tag steigt. Die Werte für die Natriumbilanz betragen ohne Kalium - 9 mval/Tag, mit 80 mval Kaliumsubstitution pro Tag - 26 mval. Die Natriurese erhöht sich also auf das Dreifache. Die Rückresorption von Wasser, Natrium und Chlor kann als wichtigste tubuläre Leistung der Niere gelten (17). Nach *Berliner* (3) ist die Kaliumsekretion an die Natrium-Rückresorption und an die H-Ionen-Sekretion in Form einer kompetitiven Wechselbeziehung gebunden. Durch Kaliumzugabe wird in der Niere der Natrium-Kalium-Austausch in Abhängigkeit von der H-Ionen-Sekretion ermöglicht. Der Kaliumverlust des Gesamtbestandes wird durch die tägliche Zugabe von einem Sechstel auf ein Sechzehntel gesenkt.

Im Gegensatz zu Natrium, Kalium, Phosphat und Stickstoff scheint kein Sparmechanismus für Kalzium zu bestehen. Serumspiegel und Urinausscheidung lagen bei unseren Patienten unabhängig von der Kaliumzufuhr im Bereich wie bei Normalernährten. Die Bilanz ergibt einen Wert von + 4,4 mval/Tag. Im Gegensatz zu Natrium und Kalium, die fast vollständig im Darm resorbiert werden, wird Kalzium unvollständig resorbiert. Notwendig für eine wirkungsvolle Kalziumresorption ist Vitamin D. Eine Verminderung von Kalzium führt im allgemeinen zur negativen Bilanz. Der Wirkungsgrad der Darmresorption kann jedoch so zunehmen, daß nach Tagen bei genügendem, aber vermindertem Angebot eine positive Bilanz erzielt werden kann. Aus diesen Gründen sind für die Beurteilung von Kalziumbilanzen langdauernde Versuchsperioden nötig.

Unter praktisch phosphatfreier Mineralwasserzufuhr blieben sowohl der Serumphosphatspiegel als auch der Mittelwert der Urinausscheidung von Phosphat im Bereich des normalernährten Menschen. Der Quotient des Elektrolytprodukts von Kalzium und Phosphat ohne und unter Zufuhr von Kalium beträgt 0,81. Die Vermutung liegt nahe, daß unter Kaliumzufuhr die Exkretion überschüssiger H-Ionen das Phosphatpuffersystem weniger belastet.

Zusammenfassung

Bei je zweimal 10 Patienten wurde eine 14tägige Null-Kalorien-Diät durchgeführt. Alle Patienten bekamen als Flüssigkeitszufuhr Mineralwasser ad libitum zu trinken; die zweite Gruppe bekam zusätzlich 80 mval Kalium pro Tag per os.

Die Serumspiegel von Natrium, Kalzium, Kalium und Phosphat blieben mit und ohne Zufuhr von Kalium im Normbereich wie bei Normalernährten. Der Bikarbonatspiegel fiel ab dem dritten Fastentag geringfügig ab; der Serumchlorspiegel sank am 14. Tag unter den unteren Normalwert auf 98 mval.

Die durchgeführten Bilanzuntersuchungen zeigten, daß wesentliche Elektrolytverluste von Kalium vor allem bei kaliumloser Mineralwasserzufuhr auftreten. Das Elektrolytprodukt von Natrium und Kalium in beiden Gruppen blieb konstant. Für Kalzium ergab sich für beide Gruppen eine positive, für Phosphat eine negative Bilanz.

Die Werte der Natriumbilanz stiegen unter Zufuhr von 80 mval Kalium pro Tag auf das Dreifache an.

Summary

In 20 patients, undergoing a fasting period of 14 days, electrolyt balances were studied. Ten patients received 80 mval potassium per day.

Sodium, potassium, calcium and phosphate in blood did not change; bicarbonate and chloride levels diminished.

Balance studies showed a significant loss of potassium in both groups. Product of sodium and potassium was constant; calcium balance was positive, whereas that of phosphate was negative. During addition of 80 mval potassium per day significant change of sodium balance occurred.

Literatur

1. Anderson, J. W., R. H. Herman, Amer. J. Clin. Nutr. 25, 41 (1972).
2. Berkowitz, D., J. A. M. A. 187, 399 (1964).
3. Berliner, R. W., T. J. Kennedy, J. Orloff, Amer. J. Med. 11, 274 (1951).
4. Bloom, W. L., Metabolism 8, 214 (1959).
5. Bloom, W. L., W. Mitchell, Arch. Int. Med. 106, 321 (1960).
6. Ditschuneit, H., Med. u. Ernähr. 12, 169 (1971).
7. Ditschuneit, H., J. D. Faulhaber, J. Beul, E. F. Pfeiffer, Internist 11, 176 (1970).
8. Christofori, F. C., G. G. Duncan, Metabolism 13, 303 (1964).
9. Drenick, E. J., M. E. Swendseid, W. H. Blahd, S. G. Tuttle, J. A. M. A. 187, 140 (1964).
10. Duncan, G. G., W. K. Jensen, F. C. Christofori, G. L. Schless, Am. J. Sc. 245, 515 (1963).
11. Duncan, G. G., W. K. Jensen, R. I. Fraser, F. C. Christofori, J. A. M. A. 181, 309 (1962).
12. Gordon, E. S., Amer. J. Clin. Nutr. 8, 740 (1960).
13. Howe, P. E., H. A. Mattill, P. B. Hawk, J. Am. Chem. Soc. 33, 568 (1911).
14. Laszlo, J., South Med. J. - 15. Laszlo, J., R. F. Klein, M. D. Bogdonoff, Clin. Res. 9, 183 (1961).
16. Murphy R., K. H. Shipman, Arch. Int. Med. 112, 954 (1963).
17. Reubi, F., Nierenkrankheiten (Bern-Stuttgart-Wien 1970).
18. Scott, J. T., F. M. McCallum, V. Holloway, Ann. Rheumat. Dis. 23, 83 (1964).
19. Spencer, H., J. Laszlo, Fed. Proc. 22, 260 (1963).
20. Schloeder, F. X., B. J. Stinebaugh, Metabolism 22, 838 (1966).
21. Sigler, M. H., J. Clin. Invest. 55, 377 (1975).

Anschrift der Verfasser:

R. Kellner und G. Berg, Medizinische Klinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg, Forschungsabteilung für Ernährung
und Stoffwechselkrankheiten, 8520 Erlangen, Krankenhausstraße 12,
Postfach 3560