

P. Leitzmann
W. Heine
K.D. Wutzke
P. von Bismarck
L. Dorlöchter
O. Miera
M. Bührle
B.W. Cornelißen
C. Höcker

Vergleichende Messungen von Magenentleerung, Blutglukose und oro-zökalen Transitzeit nach einer konventionellen Morgenmahlzeit und einem Kollath-Frühstück

Blood glucose, gastric emptying, and oro-coecal transit time after a conventional breakfast vs. a Kollath breakfast

Zusammenfassung Bei 12 freiwilligen, gesunden, erwachsenen Probanden im Alter zwischen 28 und 52 Jahren wurden die Blutglukoseverläufe und die intestinalen Transitzeiten nach alternierender Aufnahme einer konventionellen Frühstücksmahlzeit, im Vergleich zu einem Kollath-Frühstück, untersucht. Zur Bestimmung der Magenentleerungszeit diente der $^{13}\text{C}_2$ -Atemgastest nach oraler Einmalimpulsmarkierung mit 50 mg Natrium[^{13}C]azetat. Zur Messung der Magenentleerungszeit und der oro-zökalen Transitzeit erfolgte – mit zeitgleicher Applikation von 1 g Laktose[^{13}C]ureid – die Entnahme von Atemluftproben im Ab-

stand von zunächst 15 min und anschließend von 30 bzw. 60 min über einen Zeitraum von 12 h. Die ^{13}C -Markierung der entnommenen Atemgasproben wurde mittels CF-IRMS (continuous flow isotope ratio mass spectrometry) gemessen.

Der postprandiale Blutglukoseanstieg verlief im Mittel nach dem Kollath-Frühstück flacher als nach der konventionellen Frühstücksmahlzeit. Die 90-min-Werte und die Fläche unter der Blutglukosekurve unterschieden sich signifikant. Die Halbwertszeiten der Magenentleerung differierten mit 1,7 bzw. 1,6 h nicht signifikant.

Nach Aufnahme des Kollath-Frühstücks wurde eine oro-zökale Transitzeit von im Mittel 4,2 h bestimmt. Der Vergleichswert nach dem konventionellen Frühstück lag bei 5,3 h. Unterschiede in der zökalen Retentionszeit ließen sich nicht ermitteln. Die prozentuale $^{13}\text{C}_2$ -Exhalation differierte zwischen beiden Ernährungsformen nicht.

Die von Kollath postulierten, ernährungsphysiologischen Unterschiede zwischen einer Müsli-Mahlzeit und dem konventionellen Frühstück ließen sich in unseren Untersuchungen nur in angedeuteter Form für die Blutglukosekinetik bestätigen. Die Magenverweildauer war jedoch bei beiden Ernährungsformen gleich.

Summary Blood glucose kinetics and intestinal transit times were

investigated in 12 adult volunteers aged 28 to 52 years after ingestion of a conventional morning meal made up of white flour rolls, butter, marmelade, and coffee with sugar as compared with an isocaloric Kollath-breakfast consisting of whole wheat flakes as a basis.

For estimation of gastric emptying time the sodium-[^{13}C]acetate breath test technique was used. Oro-coecal transit time and gastric emptying were determined by simultaneous administration of lactose-[^{13}C]ureide and consecutive drawings of breath samples in intervals of 15, 30, and 60 min through 12 h. The $^{13}\text{C}_2$ -excess of the breath test samples was measured by continuous flow isotope ratio mass spectrometry.

The postprandial rise in blood glucose following the ingestion of the Kollath-breakfast was lower as compared with the conventional morning meal, showing significant differences between the 90 min values and the area below the blood glucose curve.

The half time of gastric emptying was not different between the two breakfast versions (1.7 vs. 1.6 h).

The oro-coecal transit time averaged out at 4.2 h after the Kollath-breakfast and 5.3 h following the conventional morning meal. Likewise, there were no significant

Eingegangen: 20. März 1997
Akzeptiert: 10. Dezember 1997

Unterstützt durch die W. u. E. Kollath- und die Eden-Stiftung

Dr. med P. Leitzmann · W. Heine
K.D. Wutzke (✉) · P. von Bismarck
L. Dorlöchter · O. Miera · M. Bührle
B.W. Cornelißen · C. Höcker
Forschungslabor
Universitäts-Kinder- und Jugendklinik
Rembrandtstraße 16–17
D-18057 Rostock

differences in the coecal retention time nor in the cumulative percentage of $^{13}\text{CO}_2$ -exhalation between the two breakfast versions. Concerning the blood glucose kinetics the differences in the nutritional physiology between

the breakfast based on whole wheat flakes and the conventional breakfast as claimed by Kollath were only detectable in outlines in our study. Gastric emptying time showed no differences between the two breakfast versions.

Schlüsselwörter ^{13}C -Atemtest – Magenentleerung – oro-zökale Transitzeit – Kollath-Frühstück

Key words ^{13}C -breath test – gastric emptying – oro-coecal transit time – Kollath breakfast

Einleitung

Alternative Ernährungsformen basieren in ihrer Mehrheit auf wissenschaftlich unzureichend erforschten Grundlagen. In der Regel ist die postulierte Wirksamkeit solcher Ernährungsformen nicht oder nur ungenügend durch randomisierte prospektive Studien und verlässliche Labordaten belegt. Die naturwissenschaftliche Bewertung ernährungsmedizinischer Verfahren ist daher eine immer wieder erhobene Forderung unserer Zeit.

In der Phase seiner Lehr- und Forschungstätigkeit in Rostock entwickelte Kollath die nach ihm benannte ovo-lakto-vegetabile Kostform. Diese Entwicklung war von der Idee getragen, Lebensmittel in naturbelassener Form als Basis einer gesunden Ernährung zu nutzen (11).

Das klassische, von Kollath im Jahre 1942 empfohlene Frühstück besteht aus Vollkorn-Weizenflocken, Haselnüssen, frisch gepreßtem Fruchtsaft und Frischmilch. Seine Vorteile gegenüber dem üblichen, konventionellen Frühstück aus Brötchen, gesüßtem Kaffee, Butter und Konfitüre bestehen nach Kollath in einem längeren Sättigungsgefühl, das nach den Untersuchungen von Viollier in Basel auf einem fast 4 Stunden konstanten Blutglukosespiegel basiert (12). Beim konventionellen Frühstück dagegen steige die Blutglukosekonzentration bereits 45 Minuten nach der Nahrungsaufnahme auf einen vergleichsweise doppelt so hohen Wert an und sinke nach 3 Stunden unter den vor der Nahrungsaufnahme gemessenen Wert ab. Dadurch erklärt sich nach Auffassung der Autoren das oft am Ende des Vormittags auftretende Hungergefühl, verbunden mit dem Rückgang der Leistungsfähigkeit. Kollath erklärt die blutglukoseregulierende Wirkung des Vollkornschrotfrühstücks durch eine längere Magenverweildauer und einen protrahierten Aufschluß der nativen Stärke, der zu einer verzögerten, gleichmäßigen Resorption der freigesetzten Glukose führt. Bestätigungen dieser Postulate durch Erfassung der Blutglukosekinetik und vergleichende Messungen von Magenentleerungs- und Darmtransitzeiten liegen bis heute nicht vor.

Unsere Arbeitsgruppe hat sich daher zum Ziel gesetzt, die physiologischen Grundlagen der Ernährung mit naturbelassenen, vollwertigen Getreideprodukten nach Art des Kollath-Frühstücks zu untersuchen. Dafür setzten wir einen von uns entwickelten kombinierten ^{13}C -Atemtest mit Natrium- ^{13}C azetat und Laktose- ^{13}C ureid als Tracersubstanzen ein, mit dem die Magenentleerung, die

oro-zökale Transitzeit und die zökale Retentionszeit auf nicht-invasivem Weg bestimmt werden können.

Material und Methodik

An der vergleichenden Bestimmung der intestinalen Transitzeiten nach Aufnahme eines Kollath-Frühstücks bzw. eines konventionellen Frühstücks nahmen 12 freiwillige gesunde Probanden im Alter zwischen 28–52 Jahren ohne gastrointestinale Beschwerden und ohne Dauermedikation an der Studie teil. Die Studienteilnehmer haben sich am Vortag an ihre üblichen Ernährungsgewohnheiten gehalten. Alle Teilnehmer haben die zwei unterschiedlichen Testmahlzeiten an zwei unterschiedlich festgelegten Tagen im Abstand von 7 Tagen und in beliebiger Reihenfolge gegessen.

Zusammensetzung der Testmahlzeiten

Kollath-Frühstück:

60 g Vollkorn-Weizenflocken, 15 g ganze Haselnüsse, Saft einer Orange (100 ml), 1/4 Liter Frischmilch.

Konventionelles Frühstück:

2 Brötchen (je 40 g), 2 Stück Würfelzucker, Kaffee, 16 g Butter, 40 g Konfitüre.

Beim Kollath-Frühstück wurden die Vollkorn-Weizenflocken mit den Haselnüssen und der Frischmilch kombiniert und mit den beiden Tracersubstanzen vermengt, um eine gleichmäßige Verteilung zu erzielen. Der Orangensaft wurde schluckweise während des Kollath-Frühstücks aufgenommen. Beim konventionellen Frühstück wurden je eine Hälfte der 2 Brötchen mit je 8 g Butter und je 20 g Marmelade und mit jeweils der Hälfte der beiden Tracersubstanzen bestrichen, um eine gleichmäßige Verteilung der ^{13}C -markierten Substanzen zu erzielen. Der Kaffee mit dem darin aufgelösten Würfelzucker wurde schluckweise während des konventionellen Frühstücks aufgenommen.

Zur Enzyminduktion wurde am Tag vor dem eigentlichen Versuch um 8:00, 12:00, 16:00 und 20:00 Uhr sowie am Morgen des Versuchstages um 6:00 Uhr 1 g unmarkiertes Laktoseureid eingenommen. Am Versuchstag wurden um 8:00 Uhr die beiden Tracersubstanzen

(50 mg Natrium-[¹³C]azetat und 1 g Laktose-[¹³C]ureid) zum jeweiligen Frühstück oral verabreicht.

Als Basiswert (7:50 Uhr) wurde Ausatemluft in je 2 Röhrchen gesammelt. Ab 8:15 Uhr wurde bis 10:00 Uhr alle 15 Minuten Ausatemluft in je 2 Röhrchen separiert. Von 10:00 bis 16:00 Uhr erfolgte die Sammlung alle 30 Minuten und von 16:00 bis 22:00 Uhr alle 60 Minuten sowie eine letzte Probe am nächsten Morgen um 6:00 Uhr. Die ¹³C-Anreicherung im exhalierten Atem wurde mittels Isotopenverhältnis-Massenspektrometrie (CF-IRMS) der Firma Europa Scientific, Crewe, United Kingdom, gemessen. Diese Technik wurde kürzlich ausführlich beschrieben (24).

Zur Blutglukose-Bestimmung wurde als Basiswert (7:50 Uhr) der präprandiale Blutglukose-Spiegel (in mmol/l) genommen. Alle 45 Minuten erfolgte eine Kontrolle des Blutglukose-Spiegels bis einschließlich 11:45 Uhr (8:45; 9:30; 10:15; 11:00 und 11:45 Uhr). Nach einer Woche erfolgte die Wiederholung der Studie im „cross over“-Verfahren.

Berechnungen

Folgende Berechnungsgleichungen wurden benutzt (24):

$$D = \frac{Z \cdot M \cdot n}{MG \cdot 100}$$

$D = {}^{13}\text{C}$ -Dosis [mmol]

Z = Laktose-[¹³C]ureid- und Natrium-[¹³C]azetat-Zufuhr;
1 g bzw. 50 mg

M = ¹³C-Markierung im Harnstoff des Laktose-[¹³C]ureids und im Na-[¹³C]azetat; je 99 At.-%

$MG =$

Molekulargewicht von

Laktose-[¹³C]ureid 403,4 g • mol⁻¹ und

Na-[¹³C]azetat 83,0 g • mol⁻¹

$${}^{13}\text{CO}_2\text{ER} = \frac{\Delta\delta {}^{13}\text{C}_{\text{cum}} \cdot [{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}]_{\text{Std.}} \cdot \text{CO}_2\text{PR}}{10 \cdot D}$$

${}^{13}\text{CO}_2\text{ER} = {}^{13}\text{CO}_2$ -Exhalationsrate

$\text{CO}_2\text{PR} =$ angenommene, endogene CO_2 -Produktionsrate von Schoeller et al. und Vantrappen et al. (21, 22):
300 mmol • m⁻² • h⁻¹

$$\Delta\delta {}^{13}\text{C}_{\text{cum}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (\Delta\delta {}^{13}\text{C}_{t_{i-1}} + \Delta\delta {}^{13}\text{C}_{t_i}) \cdot (t_i - t_{i-1})$$

$\Delta\delta {}^{13}\text{C}_{t_i} = \delta {}^{13}\text{C}_{t_i} - \delta {}^{13}\text{C}_{t_0} = {}^{13}\text{C}$ -Markierung zur Zeit t_i

($C_0 = {}^{13}\text{C}$ -Markierung zur Zeit t_0)

$({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{Std.}} =$ Isotopenverhältnis von CO_2 -Standardgas gegen Pee Dee Balmnrite Weltstandard (PDB) = 0,0112372

Definition der Transitzeiten

- * Die Halbwertzeit der Magenentleerung wurde durch die Halbierung der kumulativen prozentualen ¹³CO₂-Exhalation im ersten Teil der zweigipfligen Exhalationsphase berechnet.
- * Die orozökale Transitzeit ist das Intervall zwischen der Verabreichung des Laktose-[¹³C]ureids und der Messung eines signifikanten und anhaltenden Anstiegs von mindestens 1 Delta over baseline (DOB) ¹³C im CO₂ der Atemgasprobe.
- * Die zökale Retentionszeit entspricht der mikrobiellen Abbauphase des Laktose-[¹³C]ureids. Sie ist die Zeitspanne zwischen dem Anstieg und dem Abfall auf mindestens 2 DOB im CO₂ der Atemgasprobe des 2. Gipfels der ¹³CO₂-Exhalationskurve.

Ergebnisse

1. Blutglukosekinetik

Die mittleren Blutglukosewerte der 12 Teilnehmer der Studie sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Blutglukosewerte liegen nach Aufnahme des Kollath-Frühstücks zum Zeitpunkt 45, 90 und 135 Minuten deutlich unter denen nach Verabreichung des konventionellen Frühstücks. Die Unterschiede sind für die Fläche unter der Kurve und für den 90-Minuten-Wert signifikant. Beide Blutglukosekurven sinken nach etwa 4 Stunden fast auf den Ausgangswert der Blutglukose.

2. Magenentleerung

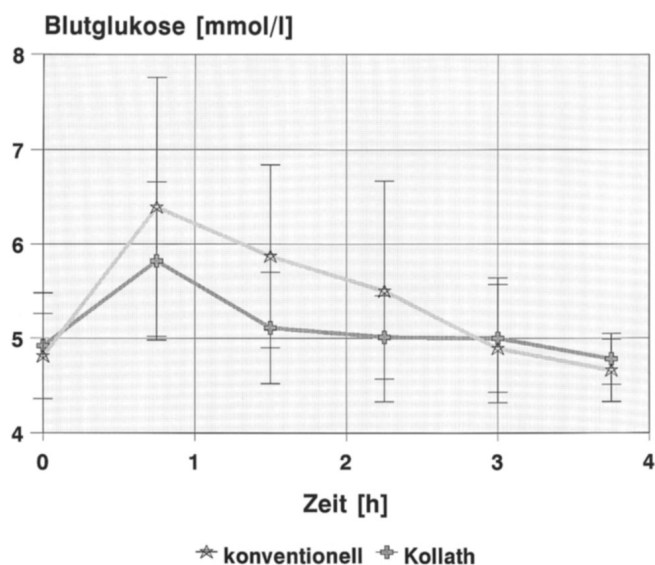
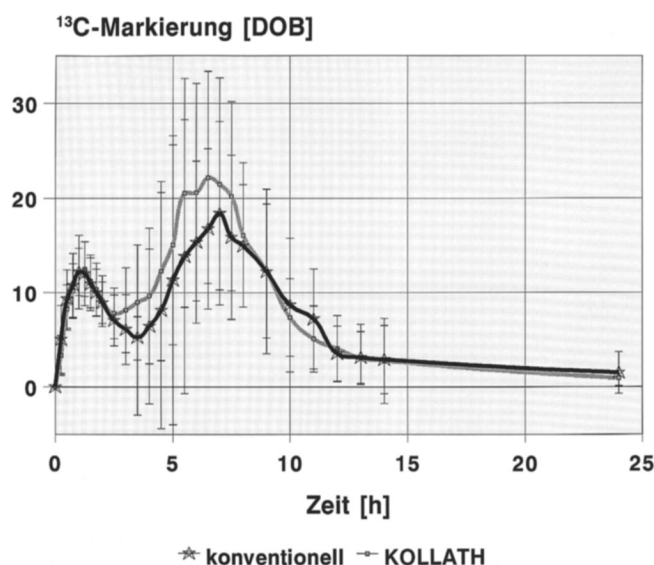
Die ¹³CO₂-Exhalation nach Aufnahme des Natrium-[¹³C]azetats ist bereits in der nach 15 Minuten entnommenen Atemgasprobe nachweisbar. Die Halbwertzeit der Magenentleerung beträgt nach Aufnahme des Kollath-Frühstücks im Mittel 1,7 Stunden, nach dem konventionellen Frühstück 1,6 Stunden und unterscheidet sich demzufolge nicht signifikant (Tab. 1, Abb. 2).

Die durch Natrium-[¹³C]azetat bedingten ¹³CO₂-Peaks der Atemgaskurven sind bei beiden Formen der Morgenmahlzeit im Mittel identisch (Abb. 2).

Tabelle 1 Orozökale Transitzeit, Halbwertzeit der Magenentleerung und zökale Retentionszeit

Probanden	Orozökale Transitzeit [h]		Halbwertzeit Magenentleerung [h]		Zökale Retentionszeit [h]	
	Konventionelles Frühstück	Kollath-Frühstück	Konventionelles Frühstück	Kollath-Frühstück	Konventionelles Frühstück	Kollath-Frühstück
B.L.	11,0	7,0	1,5	2,25	–	17,0
W.B.C.	4,0	5,5	1,5	1,75	6,5	8,5
P.B.	6,0	4,5	1,75	1,75	13,0	9,0
O.M.	6,0	4,0	1,75	1,75	13,0	12,0
C.H.	5,0	5,0	2,0	2,25	9,0	6,5
K.D.W.	4,0	4,0	1,75	1,75	7,0	6,5
A.S.	4,0	3,0	1,25	2,25	6,0	9,0
L.D.	5,0	3,5	2,0	1,25	7,0	9,5
M.B.	5,5	5,5	1,5	1,5	8,5	7,0
P.L.	5,0	2,5	1,5	1,25	6,0	8,5
R.O.	2,5	2,5	1,0	1,25	9,0	10,5
R.F.	6,0	3,5	2,0	1,5	7,0	9,5
Mittelwert	5,33*	4,21*	1,63**	1,71**	8,36***	8,77***
SD	2,0	1,3	0,3	0,4	2,4	1,6

*, **, ***: n.s.

**Abb. 1** Blutglukoseverlauf bei zwei unterschiedlichen Frühstückstypen**Abb. 2** ^{13}C -Markierung nach Gabe von Natrium- ^{13}C azetat und Laktose- ^{13}C ureid bei zwei unterschiedlichen Frühstückstypen

3. Orozökale Transitzeit

Die orozökale Transitzeit ist beim Kollath-Frühstück mit 4,2 Stunden um 1,1 Stunden kürzer als nach dem konventionellen Frühstück mit 5,3 Stunden, jedoch ohne Signifikanz (Tab. 1, Abb. 2).

4. Zökale Retentionszeit

Die Zeitspanne des mikrobiellen Abbaus des Laktose- ^{13}C ureids (zökale Retentionszeit) wurde nach dem Kol-

lath-Frühstück im Mittel mit 8,8 Stunden, nach dem konventionellen Frühstück mit 8,4 Stunden bestimmt (Tab. 1).

5. Prozentuale $^{13}\text{CO}_2$ -Exhalation

Die kumulative prozentuale $^{13}\text{CO}_2$ -Exhalation unterscheidet sich zwischen beiden Ernährungsformen nicht (Abb. 3). Etwa 25 % des ^{13}C erscheinen nach Natrium- ^{13}C azetat-Gabe in der Atemluft und etwa 40 % des ^{13}C aus

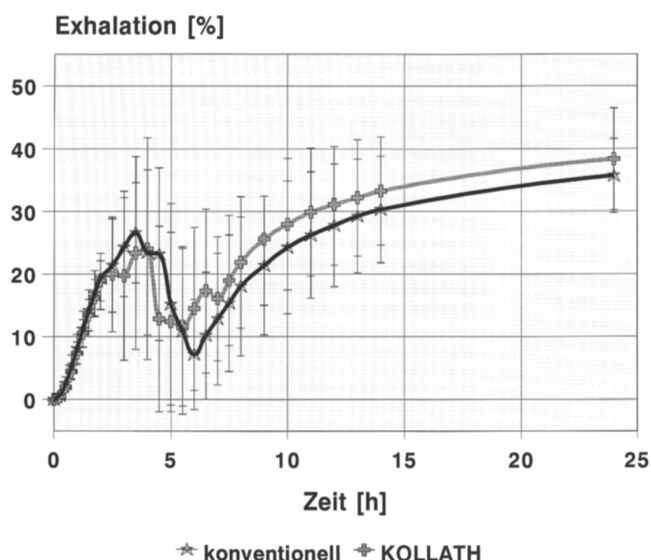


Abb. 3 Kumulative prozentuale $^{13}\text{CO}_2$ -Exhalation nach Gabe von Natrium- ^{13}C]azetat und Laktose- ^{13}C]ureid bei zwei unterschiedlichen Frühstücksformen

Laktose- ^{13}C]ureid werden als $^{13}\text{CO}_2$ abgeatmet. Die Exhalation des $^{13}\text{CO}_2$ interferiert aufgrund seiner unterschiedlicher Herkunft aus Natrium- ^{13}C]azetat und Laktose- ^{13}C]ureid.

Diskussion

Die ovo-lacto-vegetabile Ernährungsform nach Kollath wird in der ernährungswissenschaftlichen Beurteilung durch die Deutsche Gesellschaft für Ernährung bei sorgfältiger Lebensmittelauswahl als Dauerkostform für die gesunde Ernährung des Menschen als geeignet bezeichnet. Kollath betrachtete naturbelassene Lebensmittel wie Nüsse, Getreide, Früchte, Eier und Milch als besonders wertvoll und prozessierte Lebensmittel wie z.B. Weißbrot und Feine Gebäck, Trockenmilch, Stärke und Zucker als wenig wertvoll. Das von Kollath kreierte Frühstück aus geschrotetem Weizenkorn, Nüssen, frischem Obst und Milch erfreut sich auch heute noch bei gesundheitsbewußt lebenden Menschen großer Beliebtheit. Als ernährungsphysiologischer Vorteil einer solchen Ernährungsform wurden seinerzeit das lang anhaltende Sättigungsgefühl hervorgehoben, das mit einer längeren Magenverweildauer und einem protrahierten und über etwa 4 Stunden konstanten Verlauf der Blutzuckerkurve in Zusammenhang gebracht wurde (12).

Ballaststoffreiche Nahrungen nach Art des Kollath-Frühstücks wirken bei Patienten mit verzögerter Dickdarmtransitzeit zudem stuhlgangfördernd. Nach den Untersuchungen von Badiali und Mitarbeitern (1) trifft dies jedoch nicht bei verlangsamttem Rektumtransport zu.

Der kombinierte Test zur Messung der Magenentleerungs- und orozökalen Transitzeit beruht auf der Messung einer über 24 Stunden laufenden $^{13}\text{CO}_2$ -Atemgasanalyse nach einer oralen Einmalimpulsmarkierung mit Natrium- ^{13}C]azetat und Laktose- ^{13}C]ureid als Tracersubstanzen. Natrium- ^{13}C]azetat wurde erstmalig von Braden und Mitarbeitern als Tracer zur Ermittlung der Magenentleerungszeit benutzt (4). Laktose- ^{13}C]ureid wurde aus einer Reihe von Glykosylureiden von unserer Arbeitsgruppe als Tracersubstanz zur Messung orozökaler Transitzeiten eingeführt (8). Der Test basiert auf der Beobachtung, daß die Glukose-Harnstoff-Bindung des Laktose- ^{13}C]ureids ausschließlich durch mikrobielle Enzyme (9) – wahrscheinlich durch die Allantoamidohydrolase bzw. die Allantoamidinohydrolase (3, 18, 24) – gespalten wird. Dabei entsteht entweder $^{13}\text{CO}_2$ auf direktem Wege oder zunächst ^{13}C]Harnstoff, der anschließend durch die mikrobielle Urease in NH_3 und $^{13}\text{CO}_2$ gespalten wird. Diese Eigenschaft macht Verbindungen von reduzierenden Zuckern und Harnstoff wie z.B. Laktoseureid zu geeigneten Substraten für die Bestimmung intestinaler Passagezeiten. Voraussetzung dafür ist, daß die Verbindung in der Harnstoffkomponente mit dem stabilen Isotop ^{13}C markiert ist. Die schwer resorbierbaren ^{13}C -markierten Glykosylureide gelangen nach oraler Verabreichung in den mikrobiell besiedelten Teil des terminalen Ileums und des Zökums und werden dort durch eine Reihe aerob wachsender Bakterien gespalten. Das entstehende $^{13}\text{CO}_2$ wird aus dem Darmlumen absorbiert, gelangt mit dem Blutstrom in die Lunge und von dort in die Atemluft. Die Zeitspanne zwischen der oralen Aufnahme des Laktose- ^{13}C]ureids und dem Anstieg des $^{13}\text{CO}_2$ in den Atemgasproben über den Basiswert ist identisch mit der orozökalen Transitzeit. Verzögerungen des $^{13}\text{CO}_2$ -Anstiegs in der Atemluft lassen sich durch eine Induktion der mikrobiellen Enzyme in Form einer Vorbehandlung mit unmarkiertem Laktoseureid am Tag vor Testbeginn verhindern. Auf diese Weise können negative Testergebnisse bei Low- und Non-Respondern vermieden werden.

Eine der Hauptprämissen für die Anwendung stabiler Isotope in der Stoffwechselforschung besteht darin, daß das verwendete Isotop die zu beurteilende Nahrung und ihre Wirkung, in diesem Falle den Einfluß des Kollath-Frühstücks bzw. des konventionellen Frühstücks auf die Magenentleerung bzw. die orozökale Transitzeit repräsentieren sollte.

Um die ^{13}C -markierten Tracersubstanzen möglichst homogen auf die feste und flüssige Phase zu verteilen, wurden sowohl beim Kollath-Frühstück als auch beim konventionellen Frühstück Natrium- ^{13}C]azetat und Laktose- ^{13}C]ureid durch Zerkauen des Gemisches aus Vollkorn-Weizenflocken, Haselnüssen und der in Frischmilch gelösten Substanzen bzw. durch Kauen des Marmeladebrötchens mit dem auf der Butter verteilten Tracer und dem schluckweise aufgenommenen Kaffee im Mund nahezu gleichzeitig verteilt.

In unseren Untersuchungen bestätigte sich, daß der postprandiale Anstieg der Blutglukosekonzentration nach dem Kollath-Frühstück weniger ausgeprägt war als nach Verabreichung des konventionellen Frühstücks. Der 90-Minuten-Wert war zwischen beiden Frühstücksformen signifikant unterschiedlich. Allerdings konnte der von Voillier gefundene und von Kollath beschriebene Plateauwert der Blutglukose über 4 Stunden nach Aufnahme der Müsli-Mahlzeit sowie das Absinken der Blutglukosespiegel unter den Ausgangswert nach dem konventionellen Frühstück nicht bestätigt werden (12). Inwieweit bei Probanden mit einer prädiabetischen Stoffwechsellage die Unterschiede noch stärker ausgeprägt wären, bleibt zunächst ungeklärt.

Untersuchungen der Magenentleerungszeit wurden in den zurückliegenden Jahren vorwiegend mit Röntgenkontrastmitteln oder szintigraphisch mit ^{99m}Tc oder ^{111}In durchgeführt. Der Einfluß von Weizenkleie und Pektin auf die Magenentleerung wurde u.a. auch von Kasper und Mitarbeitern mit ^{99m}Tc -DTPA untersucht. Sie beobachteten unabhängig vom Anstieg der Viskosität keine signifikante Verzögerung der Magenentleerung (10). Inzwischen wurden unter Verwendung stabil markierter Tracersubstanzen wie Natrium- ^{13}C -azetat und Natrium- ^{13}C -oktanoat nichtinvasive $^{13}\text{CO}_2$ -Atemgasverfahren entwickelt, deren Validität in vergleichenden Untersuchungen mit szintigraphischen Methoden bestätigt wurde (4, 6, 14).

Die Angaben über die Beeinflussung der Magenentleerungszeit durch Ballaststoffe differieren im Schrifttum in weiten Bereichen. Verzögerungen (5, 7, 20), Indifferenzen (13, 16, 17, 19) und Beschleunigungen (15) der Magenentleerungszeit durch Ballaststoffe sind beschrieben worden.

Offensichtlich genügen weder die derzeit verfügbaren Methoden den Anforderungen als „goldener Standard“ noch führen unterschiedliche Ballaststoffe zu gleichen Ergebnissen:

Benini und Mitarbeiter haben kürzlich die Magenentleerung durch ultrasonographische Messungen des antralen Durchmessers nach Aufnahme ballaststoffarmer und ballaststoffreicher Nahrung untersucht. Die vollständige Magenentleerung war unter ballaststoffreicher, fester Nahrung signifikant verzögert (232 ± 17 vs. 186 ± 16 min). Die Fläche unter der Blutglukosekurve war bei der ballaststoffarmen Nahrung signifikant größer (2).

Die Beeinflussung der Magenentleerungszeit durch Kleie wurde von Vincent und Mitarbeitern 1995 an 12 freiwilligen Probanden szintigraphisch untersucht. Die Halbwertszeit war bei Aufnahme von 15 g grober Kleie signifikant gegenüber einem Zusatz von 15 g feiner Kleie zu einer Reismahlzeit verzögert (121 ± 6 vs. 104 ± 9 min). Ohne Kleiezusatz wurde eine Halbwertszeit der Magenentleerung von 99 ± 9 min gemessen. Die Dünndarmtransitzeit war nach Kleiezusatz gegenüber der Kontrolle leicht beschleunigt (23).

Die in unseren Untersuchungen mit einer konventionellen Frühmahlzeit und dem Kollath-Frühstück gemessenen Halbwertszeiten der Magenentleerung ließen keine Unterschiede zwischen beiden Kostformen erkennen. Wir konnten somit die Annahme Kollaths nicht bestätigen, wonach ein Getreidegericht aus Vollkorn-Weizenflocken zu gleichmäßigeren Blutglukosewerten durch eine Verzögerung der Magenentleerung führt. Theoretisch könnte auch der Pektinanteil der Konfitüre des konventionellen Frühstücks die Magenentleerung in gleicher Weise beeinflussen haben wie die Ballaststoffe der Weizenkleie. Die Tatsache, daß die Halbwertszeit der Magenentleerung zwischen beiden Kostformen identisch war (Tab. 1), spricht eindeutig dafür, daß es nach dem Kauvorgang zu einer homogenen Verteilung zwischen den festen und flüssigen Phasen beider Kostformen gekommen ist. Andernfalls hätte es aufgrund der bekannten Tatsache, daß flüssige Phasen den Magen früher verlassen als feste, zu deutlich unterschiedlichen Magenentleerungszeiten zwischen beiden Kostformen kommen müssen.

Die in unseren Untersuchungen nach Verabreichung des Kollath-Frühstücks gemessene Beschleunigung der oroökalen Transitzeit steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Vincent und Mitarbeitern (23). Als Erklärung bietet sich die Quellwirkung der Ballaststoffe und die damit im Zusammenhang stehende Erhöhung der Wasserbindung im Chymus an. Dies könnte zu den Unterschieden im Verlauf der Blutglukosewerte nach Aufnahme beider Kostformen beigetragen haben. Verlängerungen der ökalen Retentionszeit ließen sich nach Aufnahme des Kollath-Frühstücks im Vergleich zur konventionellen Frühstücksmahlzeit in unseren Untersuchungen nicht nachweisen.

Literatur

1. Badiali D, Corazziari E, Habib FI, Tomei E, Bausano G, Magrini P, Anzini F, Torsoli A (1995) Effect of wheat bran in treatment of chronic nonorganic constipation. A double-blind controlled trial. *Dig Dis Sci* 40:349–356
2. Benini L, Castellani G, Brighenti F, Heaton KW, Brentegani NT, Casiraghi MC, Sembenini C, Pellegrini N, Fioretta A, Minniti G, Porrini M, Testolin G, Vantini I (1995) Gastric emptying of a solid meal is accelerated by removal of dietary fibre naturally present in food. *Gut* 36:825–830
3. Bongaerts GPA, Vogels GD (1976) Uric acid degradation by *Bacillus fastidious* strains. *J Bacteriol* 125: 689–697
4. Braden B, Adams S, Duan LP, Orth KH, Maul FD, Lembcke B, Hor G, Caspary WF (1995) The ^{13}C -acetate breath test accurately reflects gastric emptying of liquids in both liquid and semisolid test meals. *Gastroenterology* 108:1048–1055
5. Brown NJ, Worlding J, Rumsey RDE, Read NW (1988) The effect of guar gum on the distribution of a radio-labelled meal in the gastrointestinal tract of the rat. *Br J Nutr* 59:223–232
6. Duan LP, Braden B, Caspary WF, Lembcke B (1995) Influence of cisapride on gastric emptying of solids and liquids monitored by ^{13}C breath tests. *Dig Dis Sci* 40:2200–2206
7. Di Lorenzo C, Cardiff MW, Hajnal F, Valenzuela JE (1988) Pectin delays gastric emptying and increases satiety in obese subjects. *Gastroenterology* 95:1211–1215
8. Heine WE, Berthold HK, Klein PD (1995) A novel stable isotope breath test: ^{13}C -labeled glycosyl ureides used as non-invasive markers of intestinal transit time. *Am J Gastroenterol* 90:93–98
9. Hoffmann E (1931) Über den Abbau von Glucoseureid durch Bakterien. *Biochem Zeitschr* 243:416–422
10. Kasper H, Eilles C, Reiners C, Schrezenmeir J (1985) The influence of dietary fiber on gastric transit time. *Hepatogastroenterol* 32:69–71
11. Kollath W (1952) Die Ordnung unserer Nahrung. Haug, Heidelberg, 15th ed.
12. Kollath W (1981) Die Ernährung als Naturwissenschaft. Haug, Heidelberg, 3rd ed.
13. Meyer JH, Mayer EA, Jehn D, Gu Y, Fink AS, Fried M (1986) Gastric processing and emptying of fat. *Gastroenterology* 90:1176–1187
14. Pfaffenbach B, Schaffstein J, Adamek RJ, Lee YH, Wegener M (1996) The ^{13}C -acetate breath test for the noninvasive assessment of the gastric emptying of a liquid/solid test meal in diabetics. *Dtsch Med Wochenschr* 121: 713–718
15. Potkins ZV, Lawrence TLJ (1984) Studies on the effects of composition and physical form of the diet on gastric abnormalities and nutrient utilization in the growing pig. *Animal Production* 38:534
16. Rainbird AL (1986) Effect of guar gum on gastric emptying of test meals of varying energy content in growing pigs. *Br J Nutr* 55:99–109
17. Rainbird AL, Low AG (1986) Effect of various types of dietary fibre on gastric emptying in growing pigs. *Br J Nutr* 55:111–121
18. Rijnierse VFM, van der Drift C, Vogels GD (1977) Allantoinase and allantoinase synthesis in *Pseudomonas aeruginosa*. *Can J Microbiol* 23: 633–637
19. Rydning A, Nesland A, Berstad A (1984) Influence of fibre on postprandial intragastric juice acidity, pepsin and bile acids in healthy subjects. *Scand J Gastroenterol* 19:1039–1044
20. Sandhu KS, El Samani MM, Mena I, Dooley CP, Valenzuela JE (1987) Effect of pectin on gastric emptying and gastroduodenal motility in normal subjects. *Gastroenterology* 92:486–492
21. Schoeller DA, Klein PD, Watkins JB, Heim T, MacLean WC Jr. (1980) ^{13}C abundance of nutrients and the effect of variations in ^{13}C isotopic abundances of test meals formulated for $^{13}\text{CO}_2$ breath tests. *Am J Clin Nutr* 33:2375–2385
22. Vantrappen GR, Rutgeerts PJ, Ghoo YF, Hiele MI (1989) Mixed triglyceride breath test: a noninvasive test of pancreatic lipase activity in the duodenum. *Gastroenterology* 96:1126–1134
23. Vincent R, Roberts A, Frier M et al. (1995) Effect of bran particle size on gastric emptying and small bowel transit in humans: a scintigraphic study. *Gut* 37:216–219
24. Wutzke KD, Heine WE, Plath C, Leitzmann P, Radke M, Mohr C, Richter I, Gülzow HU, Hobusch D (1997) Evaluation of oro-coecal transit time: a comparison of the lactose- ^{13}C , ^{15}N ureide $^{13}\text{CO}_2$ - and the lactulose H_2 -breath test in humans. *Eur J Clin Nutr* 51:11–19