

H₂-ATEMTESTS FÜR DIE MEDIZINISCHE FORSCHUNG UND KLINISCHE DIAGNOSTIK

H₂-ATEMTESTS FÜR DIE MEDIZINISCHE FORSCHUNG UND KLINISCHE DIAGNOSTIK

1. EINFÜHRUNG

Während die unterste Schicht der Erdatmosphäre, die Troposphäre, 0,575 ppm Wasserstoff (H₂) enthält, führt die von gesunden Menschen ausgeatmete Luft gewöhnlich 20 bis 30 ppm oder sogar mehr Wasserstoff mit sich. (Abweichungen von dieser Regel beruhen gewöhnlich zumindest teilweise darauf, dass in der Mikrofauna des Darmtrakts mancher Menschen mehr Methan- als Wasserstoff-Produzenten enthalten sind. Diese Menschen exhalierten mehr Methan als Wasserstoff.) Die erhöhte H₂-Konzentration in der Atemluft beruht darauf, dass ein Teil der mit der Nahrung aufgenommenen Kohlenhydrate (und Proteine) nicht resorbiert oder verdaut und über die Darmschleimhaut resorbiert, sondern unter Bildung von Wasserstoff (oder Methan) vergoren wird durch Bakterien, die entweder im Kolon oder, insbesondere im Fall einer bakteriellen Überbesiedelung, auch im Dünndarm siedeln. Ein Teil dieses Wasserstoffs wird innerhalb weniger Minuten in der Darmschleimhaut im Blut gelöst, zur Lunge transportiert und erscheint schließlich in der ausgeatmeten Luft. Auf diese Weise verursacht ein oral aufgenommenes Kohlenhydrat (D-Glukose, D-Fruktose, D-Galaktose, D-Xylose, D-Laktose, D-Sukrose, D-Trehalose, D-Laktulose, Stärke etc.) oder eine den Kohlenhydraten hinsichtlich ihrer Molekülstruktur ähnliche Substanz (Sorbit, Xylit, Laktitol, Mannit etc.), eine erhöhte Wasserstoff-Konzentration in der ausgeatmeten Luft, entweder weil die Substanz im Dünndarm nicht oder nur teilweise resorbiert wird und deshalb ins Kolon gelangt und dort von anaeroben Bakterien vergoren wird, oder weil die Substanz wegen bakterieller Überbesiedelung des Dünndarms schon dort unter Bildung von Wasserstoff vergoren wird.

Kurven, welche die Abhängigkeit der Wasserstoff-Konzentration in der Atemluft von der Zeit nach der Aufnahme eines Kohlenhydrats oder irgendeiner anderen Substanz darstellen, können deshalb eine der folgenden Formen haben:

1.) Kein Anstieg der H₂-Konzentration während einer Zeit von mehr als drei Stunden

Gründe: Die Substanz wird im gesamten Darmtrakt nicht durch H₂-produzierende Bakterien vergoren

Schlussfolgerungen für die Diagnose: Im gesamten Darmtrakt befinden sich keine H₂-produzierenden Bakterien oder die Testsubstanz wird in der Darmschleimhaut mit einer Geschwindigkeit resorbiert, die groß ist im Vergleich mit der Geschwindigkeit der Vergärung durch anaerobe Bakterien

2.) Die H₂-Konzentration durchläuft mehr als eine Stunde nach der Aufnahme der Testsubstanz ein Maximum und nähert sich dann asymptotisch wieder der Zeitachse

Gründe: Der Dickdarm ist von anaeroben Bakterien besiedelt, die mindestens einen Teil der Testsubstanz in Wasserstoff verwandeln

Schlussfolgerungen für die Diagnose: Erkrankungen, welche die Aufenthaltszeit des Substrats im Dünndarm im Vergleich mit Normalwerten in einer Zeit zwischen einer und einigen Stunden verkürzen oder verlängern

3.) Die H₂-Konzentration durchläuft während der ersten Stunde nach Aufnahme der Testsubstanz ein Maximum und nähert sich dann asymptotisch wieder der Zeitachse

Gründe: Die gesamte Testsubstanz wird schon im Dünndarm entweder vergoren und absorbiert oder nur vergoren und erreicht deshalb den Dickdarm nicht

Schlussfolgerungen für die Diagnose: Bakterielle Überbesiedelung des Dünndarms

4.) Die H_2 -Konzentration durchläuft ein erstes Maximum während der ersten Stunde nach Aufnahme des Substrats, ein zweites nach mehr als einer Stunde und nähert sich dann asymptotisch wieder der Zeitachse

Gründe: Ein Teil des Substrats wird im Dünndarm, ein anderer Teil erst im Dickdarm unter Wasserstoff-Bildung vergoren.

Schlussfolgerungen für die Diagnose: Bakterielle Überbesiedelung des Dünndarms; gegebenenfalls auch Krankheiten, die abnorme Aufenthaltsdauern im Dünndarm zur Folge haben können

Demzufolge können mittels H_2 -Atemtests Erkrankungen bzw. Störungen folgender Art diagnostiziert werden:

- entzündliche Darmerkrankungen [Laktulose- H_2 -Atemtest]
- abnorme Aufenthaltszeiten von Kohlenhydraten im Magen-Darm-Trakt (oroökale Transitzeit) [Laktulose- H_2 -Atemtest]
- Bewertung der therapeutischen Wirksamkeit von Therapeutika gegen myeloische Leukämie [Laktulose- H_2 -Atemtest, Laktulose-Mannit- H_2 -Atemtest]
- Zöliakie [Laktulose H_2 -Atemtest, D-Xylose- H_2 -Atemtest]
- bakterielle Überbesiedelung bestimmter Darmabschnitte, Divertikel [D-Xylose-Atemtests, D-Glukose-Atemtest]
- Malabsorption bzw. Maldigestion bestimmter Kohlenhydrate im Darmtrakt
- Laktose-Intoleranz [Laktose- H_2 -Atemtest]
- Saccharose-Intoleranz [Saccharose- H_2 -Atemtest]

2. ARBEITSVORSCHRIFTEN FÜR H_2 -ATEMTESTS

H_2 -Atemtests sollten während der ersten vier Wochen nach einer Therapie mit Antibiotika, nach einer Darmspülung oder nach einer Enteroskopie nicht ausgeführt werden. Vor der Einnahme des Testmahls mit dem Substrat müssen die Patienten mindestens sechs Stunden fasten. Während dieser Zeit und während der Beprobung der Atemluft darf kein Kaugummi benutzt werden, weil er gewöhnlich Sorbit enthält, das im Darm unter Wasserstoff-Bildung fermentiert werden kann. Mindestens 30 Minuten vor der Einnahme des Testmahls beginnend müssen sich die Probanden des Rauchens und körperlicher Anstrengungen enthalten.

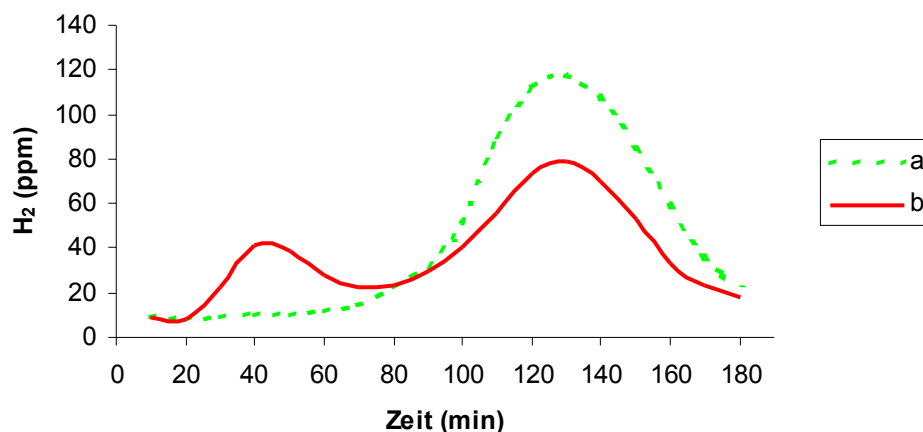
Alveolarluft, das ist der letzte Teil eines einzelnen Akts des Ausatmens (ungefähr 150 ml), wird unmittelbar vor und dann einige Stunden lang zu bestimmten Zeiten nach der Einnahme des Testmahls genommen. Die zeitliche Folge der Atemgas-Probennahme und die anzuwendenden Substrat-Mengen sind in den Abschnitten 3 bzw. 5 dieser Monographie angegeben. Die Bewertung der Messdaten erfolgt auf der Basis des zeitlichen Verlaufs der gemessenen Wasserstoff-Konzentrationen (im Vergleich mit der Wasserstoff-Konzentration in der eingeatmeten Luft). Gewöhnlich wird der so genannte cut-off-Wert Δ , das ist die Differenz der maximalen H_2 -Konzentration in der Atemluft eine bestimmte Zeit nach der Einnahme des Testmahls mit dem Substrat minus der H_2 -Konzentration in der Atemluft unmittelbar vor der Einnahme des Testmahls, als diagnostisches Kriterium verwendet. Wenn diese Differenz diesen kritischen Wert Δ überschreitet, muss eine bestimmte Stoffwechsel-Anomalie angenommen werden. Weil Aufenthaltsdauern der Substrate selbst bei Gesunden in einem weiten Bereich streuen und weil die H_2 -Bildung gewöhnlich erst beginnt, nachdem das Substrat Magen und Zwölffingerdarm passiert hat, darf die Beprobung der Atemluft nicht beendet werden, bevor die H_2 -Konzentration ihr Maximum überschritten hat.

3. BESCHREIBUNG EINIGER WICHTIGER H₂-ATEMTESTS

1.) Der Laktulose-H₂-Atemtest

Laktulose ist ein künstlich hergestelltes, aus Fruktose und Galaktose zusammengesetztes Disaccharid, für das ein Enzym, das es in Fruktose und Galaktose zerlegen könnte, nicht existiert. Die graphische Darstellung der H₂-Konzentration im Verlauf der Zeit nach der Einnahme des Substrats wird deshalb folgende Gestalt haben:

Abb. 1: Laktulose-H₂-Atemtest



a) Normal.

Mangels eines geeigneten Enzyms wird die Laktulose nicht in ihre Monosaccharide zerlegt. Eine bakterielle Überbesiedelung des Dünndarm besteht nicht. Gegen Ende der oroökalen Transitzeit kommt die Testsubstanz im Dickdarm an, wo sie von anaeroben Bakterien unter Bildung von Wasserstoff bzw. Methan vergoren wird. Wasserstoff (bzw. Methan) wird in der Darmwand resorbiert und im Blutserum gelöst, wird dann in die Lunge transportiert, wo er in die kapillaren Blutgefäße gelangt, welche die Alveolen umgeben, und schließlich ausgeatmet.

b) Pathologisch.

Bei einer bakteriellen Überbesiedelung des Dünndarms beginnt die Vergärung der Testsubstanz schon im Dünndarm, so dass zwei Maxima der H₂-Konzentration in der Expirationsluft entstehen können.

Der Laktulose-H₂-Atemtest ist der am weitesten verbreitete nicht-invasive Test zur Bestimmung der oroökalen Transitzeit. Er eignet sich zur Untersuchung der Transitzeiten bestimmter Bestandteile der Nahrung, speziell von Kohlenhydraten, im Darmtrakt. In Bezug auf Sensitivität und Spezifität wird der Test allerdings von dem (aufwändigeren) Laktose-[¹³C, ¹⁵N]Ureid-Atemtest übertroffen. (Deshalb ist in der medizinischen Diagnostik folgendes üblich: Wenn die Ergebnisse beider Tests übereinstimmen, wird das Ergebnis hingenommen. Falls die beiden Tests einander widersprechende Resultate ergeben, wird die Entscheidung mit Hilfe einer invasiven Methode herbeigeführt.) Ein sehr früher Anstieg der H₂-Konzentration in der Atemluft weist auf bakterielle Überbesiedelung des Dünndarms hin, während eine verzögerte H₂-Ausscheidung mit der Atemluft auf eine verlängerte Transitzeit in diesem Teil des Darms hinweist. Die Diagnose der zystischen Fibrose, der Hyperglykämie, des gastroösophagischen Refluxes und der Zöliakie sind weitere, sich entwickelnde Ziele des Laktulose-H₂-Atemtests. Darüber hinaus dient der Test auch zur Bewertung der therapeutischen Wirksamkeit von Medikamenten gegen myeloische Leukämie und, im Hinblick auf die negativen Auswirkungen der HIV-Infektion auf die Resorption der Laktose, auch gegen die HIV-Infektion.

Wenn der H₂-Gehalt der Atemluft nach der Einnahme von 20 g Laktulose um mehr als 20 ppm steigt, muss Kohlenhydrat-Malabsorption angenommen werden.

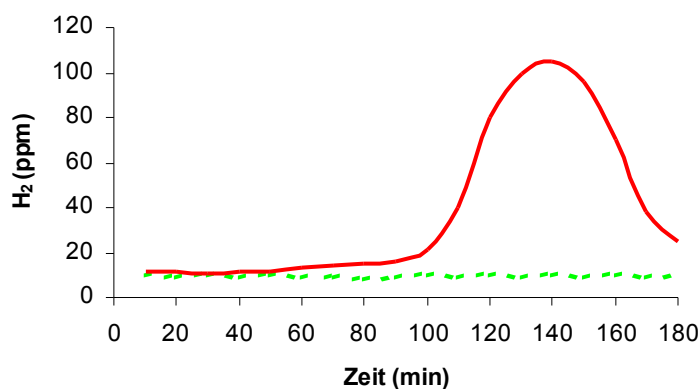
Arbeitsvorschrift für den Laktulose-H₂-Atemtests:

Kinder im Alter von bis zu 6 Monaten nehmen 3,34 g Laktulose in isotonischer Lösung (3,34 g/5 ml Duphar-Duphalaco-Sirup) ein, Kinder im Alter von über 6 Monaten 6,68 g Laktulose/10 ml dieses Sirups ein. Erwachsenen werden 10 g Laktulose, gelöst in 150 ml Wasser, verabreicht. Atemgas-Proben werden unmittelbar vor der Einnahme des Substrats und 30, 60, 120 und 150 Minuten danach verabreicht. Für die Diagnose eines asymptomatischen Diabetes ist der Laktulose-H₂-Atemtest offenbar nicht geeignet.

2.) Der Laktose-H₂-Atemtest

Laktose ist ein Disaccharid. Das Enzym Laktase spaltet es in Galaktose und Glukose, die im Dünndarm resorbiert werden. Die graphische Darstellung der H₂-Konzentration im Verlauf der Zeit nach der Einnahme des Substrats wird deshalb folgende Gestalt haben:

Abb. 2: Laktose-H₂-Atemtest



a) Normal.

Laktose wird in Galaktose und Glukose gespalten und dann im Dünndarm resorbiert. Bei Gesunden vollzieht sich der Abbau durch anaerobe Bakterien entweder erst im Dickdarm oder überhaupt nicht.

b) Pathologisch

(Laktose-Malabsorption als Folge eines Laktase-Mangels, Laktose-Intoleranz).

Aus Mangel an Laktase wird die Testsubstanz weder in Galaktose und Glukose gespalten noch im Dünndarm resorbiert. Deshalb wird das Substrat erst im Dickdarm unter Bildung von Wasserstoff vergoren. Der Wasserstoff wird in der Darmwand resorbiert und im Blutserum gelöst, wird dann in die Lunge transportiert, wo er in die kapillaren Blutgefäße gelangt, welche die Alveolen umgeben, und schließlich ausgeatmet.

Der Laktose-H₂-Atemtest wird für die Diagnose der Laktose-Malabsorption benutzt, die in der ganzen Welt weit verbreitet ist. Darüber hinaus dient der Test auch zur Bewertung der therapeutischen Wirksamkeit von Medikamenten wie Loperamid.

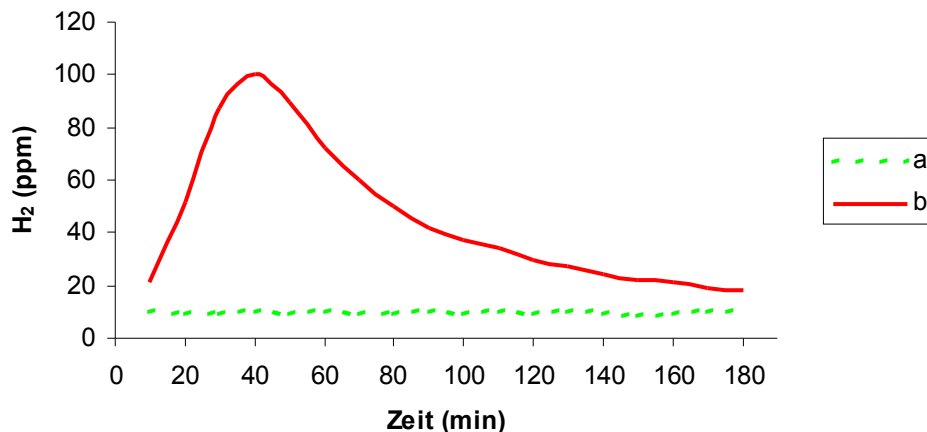
Arbeitsvorschrift für den Laktose-H₂-Atemtests:

Für die Diagnose einer Laktose-Malabsorption werden morgens auf nüchternen Magen 2 g/kg Körpergewicht (maximal 20 g) Laktose in 100 ml Wasser verabreicht. Atemgas-Proben werden unmittelbar vor und 30, 60, 120 und 150 Minuten nach der Einnahme des Substrats genommen. Wir empfehlen einen cut-off-Wert von $\Delta = 30$ ppm zur Unterscheidung von Patienten mit Laktase-Mangel von solchen mit normalem Laktose-Stoffwechsel. Empfindlichkeit und Spezifität liegen dann im Bereich von 90 bis 95 %. Wenn zusätzliche Symptome wie Bauchschmerzen bestehen, muss mit Laktose-Intoleranz gerechnet werden. Schon 24 Stunden vor der Einnahme des Substrats und während des Tests dürfen die Patienten keine Bohnen, Erbsen, Zwiebeln, Kohlrarten, größere Mengen Äpfel, frisches Brot und andere schwer verdauliche Nahrungsmittel zu sich nehmen.

3.) Der Glukose-H₂-Atemtest

Glukose ist ein Monosaccharid, das im Dünndarm rasch und vollständig resorbiert wird. Bei bakterieller Überbesiedelung des Dünndarms konkurrieren Resorption und Abbau durch anaerobe Bakterien unter Bildung von Wasserstoff (bzw. Methan) miteinander. Die graphische Darstellung der H₂-Konzentration im Verlauf der Zeit nach der Einnahme des Substrats wird deshalb folgende Gestalt haben:

Abb. 3: Glukose-H₂-Atemtest



a) Normal.

Glukose wird im Dünndarm rasch und vollständig resorbiert und gelangt deshalb nicht in den Dickdarm. Die H₂-Konzentration bleibt deshalb während des Tests konstant.

b) Pathologisch.

Bakterielle Überbesiedelung des Dünndarms. Dort und nur dort konkurrieren Resorption und bakterieller Abbau unter Bildung von Wasserstoff miteinander.

Der Glukose-H₂-Atemtest dient zum Nachweis einer bakteriellen Überbesiedelung des Dünndarms, in Kombination mit dem Galaktose-H₂-Atemtest auch zur Diagnose einer Glukose/Galaktose-Malabsorption. Der Test wird auch für die Diagnose einer Insuffizienz der exokrinen Pankreas-Funktion in Betracht gezogen.

Arbeitsvorschrift für den Glukose-H₂-Atemtests:

Morgens auf nüchternen Magen werden 75 g Glukose in 400 ml Wasser oral verabreicht. Atemluft-Proben werden unmittelbar vor und 45, 90, 135 und 180 Minuten nach der Einnahme der Glukose-Lösung genommen. Wenn die H₂-Konzentration in der Atemluft um mehr als 20 ppm ansteigt, dann muss eine bakterielle Überbesiedelung des Dünndarms angenommen werden. Empfindlichkeit und Spezifität des Glukose-H₂-Atemtests liegen in der Größenordnung von nur 60 bis 90 bzw. 75 bis 100 %. Mangels besserer Alternativen hat sich der Test in der klinischen Praxis jedoch behauptet.

4.) Der Fruktose-H₂-Atemtest

Der Fruktose-H₂-Atemtest wird zur Diagnose der Fruktose-Malabsorption benutzt. Der Test ist absolut kontraindiziert bei Patienten mit angeborener Fruktose-Intoleranz. Bei Menschen mit dieser Krankheit wäre die Anwendung des Fruktose-H₂-Atemtests lebensbedrohlich. (Die Häufigkeit der Fruktose-Intoleranz liegt im Bereich von 1:10 000 bis 1:15 000. Klinisch äußert sich die Krankheit in einem hyperglykämischen Schock nach Aufnahme fruktosehaltiger Nahrungsmittel (Früchte, saccharosehaltige Milcherzeugnisse, Süßigkeiten u. ä.) im Säuglingsalter, in Ernährungsstörungen mit Erbrechen, Fieber und Dystrophie, Hepatomegalie und Leberfunktionsstörungen. Eine Diagnose ist möglich durch den Nachweis eines Mangels an der Untereinheit B des Enzyms Aldolase in der Leber, evtl. auch in der Dünndarm-Schleimhaut.)

Arbeitsvorschrift für den Fruktose-H₂-Atemtest:

Morgens auf nüchternen Magen werden 25 g Fruktose, in 250 ml Wasser gelöst, oral verabreicht. Die Atemluft wird unmittelbar vor und 45, 90, 135 und 180 Minuten nach der Einnahme des Substrats beprobt. Wenn die H₂-Konzentration in der ausgeatmeten Luft um mehr als $\Delta = 20$ ppm steigt, dann muss von einer Fruktose-Malabsorption ausgegangen werden.

5.) Der Xylose-H₂-Atemtest

Der D-Xylose-H₂-Atemtest wird für die Diagnose der Zöliakie und anderer Resorptionsstörungen im Bereich des Darmtrakts benutzt. Bei Gesunden wird D-Xylose (weniger rasch als Glukose und Galaktose) im Duodenum und im oberen Jejunum resorbiert. Kurven, die den Zusammenhang zwischen der H₂-Konzentration in der Atemluft und der Zeit nach der Einnahme des Substrats darstellen, entsprechen deshalb in ihrer Form denen in Fig. 2. Anders als der Glukose-H₂-Atemtest erlaubt es der Test nicht, zwischen bakterieller Überbesiedelung und Malabsorption im Dünndarm zu unterscheiden.

Arbeitsvorschrift für den Xylose-H₂-Atemtest:

Zur Bestimmung der Xylose-Resorption werden 25 g D-Xylose in wässriger Lösung verabreicht. Je schneller das Substrat im Dünndarm resorbiert wird, desto kleiner ist die Menge, die im Kolon ankommt und dort unter Freisetzung von Wasserstoff vergoren werden kann. Atemluft-Proben werden unmittelbar vor und 45, 90, 135 und 180 Minuten nach der Einnahme des Substrats genommen. Als cut-off-Wert für das Erkennen von Resorptionsstörungen im Darmbereich kann eine H₂-Konzentration von $\Delta = 20$ ppm angenommen werden.

6.) Der Saccharose-H₂-Atemtest

Der Saccharose-H₂-Atemtest wird für die Diagnose der Saccharose-Intoleranz und der Saccharose-Isomaltose(-Stärke)-Intoleranz benutzt. Saccharose wird im Dünndarm in Glukose und Fruktose gespalten. Bei Gesunden werden diese Monosaccharide in diesem Darmabschnitt resorbiert, ohne den Dickdarm zu erreichen. Im Fall von bakterieller Überbesiedelung des Dünndarms konkurriert die Wasserstoff-Erzeugung durch Vergärung mit der Resorption. Kurven, die den Zusammenhang zwischen der H₂-Konzentration in der Atemluft und der Zeit nach der Einnahme des Substrats darstellen, entsprechen deshalb in ihrer Form denen in Fig. 2.

Arbeitsvorschrift für den Saccharose-H₂-Atemtest:

Zur Diagnose der Saccharose-Intoleranz werden morgens auf nüchternen Magen 2 g Saccharose/kg Körpergewicht (maximal 20 g) in 100 ml Wasser oral verabreicht. Die Atemluft wird unmittelbar vor und 30, 60, 120 und 150 Minuten nach der Einnahme des Substrats beprobt. Der cut-off-Wert zur Unterscheidung von Patienten mit Saccharose-Intoleranz von Gesunden liegt bei einer H₂-Konzentration von $\Delta = 20$ ppm.

7.) Der Sorbit-H₂-Atemtest

Für die Diagnose der Zöliakie wird gelegentlich auch die Ausscheidung von Wasserstoff mit der Atemluft nach der Einnahme des 6-wertigen Alkohols Sorbit gemessen. Sorbit wird im Dünndarm resorbiert. Graphische Darstellungen der Wasserstoff-Konzentration in der Atemluft in Abhängigkeit von der Zeit nach der Einnahme des Substrats können deshalb die Gestalt der Kurven in Figur 2 haben.

Arbeitsvorschrift für den Sorbit-H₂-Atemtest:

Nach 12-stündigem Fasten werden 5g Sorbit, gelöst in 250 ml destilliertem Wasser, oral verabreicht. Während des Fastens und während des Tests selbst nehmen die Probanden nur Tee, Kaffee oder Leitungswasser zu sich und enthalten sich körperlicher Anstrengungen. FAN empfiehlt, Atemgas-Proben unmittelbar vor und 30, 60, 120, 180 und 240 Minuten nach der Aufnahme des Substrats zu nehmen und einen cut-off-Wert von $\Delta = 10$ ppm zu wählen, um an Zöliakie Erkrankte von Gesunden zu unterscheiden.

4. DIE MESSUNG VON H₂-KONZENTRATIONEN IN DER ATEMLUFT

Für die Messung von H₂-Konzentrationen in der Atemluft werden entweder Wärmeleitzellen oder Wasserstoff-Elektroden verwendet. Fischer ANALYSEN Instrumente GmbH (FAN), Leipzig, bietet für diesen Zweck den H₂-Monitor LactoFAN an. Dieses handliche Gerät beruht auf einer elektrochemischen Brennstoffzelle, die von der Reaktion des molekularen Wasserstoffs mit einem Elektrolyten an einer Elektrode und molekularem Sauerstoff der Umgebungsluft an der anderen Elektrode Gebrauch macht. Diese chemische Reaktion erzeugt einen der Wasserstoff-Konzentration an der Wasserstoff-Elektrode proportionalen elektrischen Strom, der von einem Mikroprozessor abgelesen wird, der H₂-Konzentrationen in der ausgeatmeten Luft misst und sie in parts per million (ppm) mit einer Genauigkeit von ± 1 ppm ausgibt. LactoFAN ist klein (170 x 60 x 26 mm), leicht (175 g) und nutzerfreundlich. Eine Autoreset-Funktion setzt die nach der Einnahme des Substrats gemessenen H₂-Konzentrationen in Beziehung zu den vorher gemessenen Werten. Fischer ANALYSEN Instrumente GmbH bietet auch Zubehör für die Probenahme, den Transport und die Aufbewahrung der Atemgas-Proben, Zusatzteile für Neugeborene, Frühgeborene und Kleinkinder an. Auf Wunsch kann auch eine Schnittstelle für die Computersteuerung und Datenverarbeitung mittels einer speziellen FANci-Software geliefert werden.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Solange Wasserstoff-Atemtests vorzugsweise in der klinischen Forschung angewandt werden, spielt die Dauer der Entnahme der Atemgas-Proben und die Zahl der zu entnehmenden und zu messenden Atemgas-Proben keine Rolle. Manchmal wird das Atemgas viele Stunden lang in Intervallen von wenigen Minuten beprobt. In der klinischen Praxis sind solche umständlichen und zeitraubenden Prozeduren unbeliebt. Deshalb schlagen wir für eine Reihe von wichtigen H₂-Atemtests vereinfachte Prozeduren vor, von denen wir annehmen dürfen, dass sie ohne einen nennenswerten Verlust an Empfindlichkeit und Spezifität ausgeführt werden können. (In den vorhergehenden Arbeitsvorschriften sind diese Vereinfachungen bereits berücksichtigt.) Die letzte Spalte der folgenden Tabelle gibt cut-off-Werte an, d. h. den minimalen Anstieg der H₂-Konzentration in der Atemluft nach der Einnahme des Substrats, der pathologische Stoffwechsel-Situationen anzeigt.

Substrat	Menge	Probenahme-Zeiten [min]	H ₂ -Anstieg [ppm]
Lactulose	3,34 g in isoton. Lösung (< 6 Monate)	0, 30, 60, 120, 150	20
	6,68 g in isoton. Lösung (> 6 Monate)	0, 30, 60, 120, 150	20
	10 g in 150 ml Wasser (Erwachsene)	0, 30, 60, 120, 150	20
Lactose	2 g/kg (maximale Menge: 20 g) in 100 ml Wasser	0, 30, 60, 120, 150	30
D-Xylose	25 g in wässriger Lösung	0, 45, 90, 135, 180	20
Saccharose	2 g/kg in 100 ml Wasser (maximale Menge: 20 g)	0, 30, 60, 120, 150	20
Glucose	75 g in 400 ml Wasser	0, 45, 90, 135, 180	20
Fructose)*	25 g in 250 ml Wasser	0, 45, 90, 135, 180	20
Sorbit	5 g in 250 ml Wasser	0, 30, 60, 120 180, 240	10

)* Bei Fruktose-Intoleranz ist der Test absolut kontraindiziert.

Für die Bestimmung orozökaler Transitzeiten empfehlen wir den Laktulose-H₂-Atemtest, wenn möglich ergänzt durch den Laktose-[¹³C, ¹⁵N]Ureid-Atemtest, um eine höhere Verlässlichkeit der diagnostischen Aussage zu erreichen. Laktose-Malabsorption kann am besten mittels des Laktose- H₂-Atemtests diagnostiziert werden. Malabsorption von Kohlenhydraten im Allgemeinen wird mittels des Laktulose- bzw. des Xylose-H₂-Atemtests diagnostiziert. Für die Diagnose der Saccharose-Intoleranz empfehlen wir den Saccharose-H₂-Atemtest, während ein positiver Glukose-H₂-Atemtest auf eine bakterielle Überbesiedelung des Dünndarms hinweist. Zöliakie wird mittels des Sorbit-H₂-Atemtests diagnostiziert.

6. GLOSSAR

Aldosen:

Monosaccharide mit einer Aldehyd-(–CHO-)Gruppe in endständiger Position

Bakterielle Überbesiedelung:

Eine zu hohe Konzentration an Bakterien (im Dünndarm)

Darm (Intestinum, Enteron):



Digestion:

Verdauung. Aufspaltung (im Allgemeinen) hochmolekularer Nahrungsbestandteile durch das Zusammenspiel von Sekreten der Speicheldrüsen, des Magens, der Leber, des Pankreas und des Dünndarms

Disaccharidasen:

Enzyme, die Disaccharide in die entsprechenden Monosaccharide zerlegen. So wird das Disaccharid Laktose im Dünndarm durch die Disaccharidase Laktase in Galaktose und Glukose gespalten, die dort resorbiert werden

Disaccharidase-Mangel:

Mangel an dem Enzym Disaccharidase (im Dünndarm)

Disaccharide:

Produkte der Koppelung zweier Monosaccharide miteinander in der Weise, dass die Aldehyd- oder Keto-Gruppe des einen Monosaccharids ein Glykosid bildet mit einer –OH-Gruppe des anderen Monosaccharids. Beispiele: Saccharose = Sukrose, bestehend aus Glukose und Fruktose; Laktose, bestehend aus Galaktose und Glukose; Maltose, bestehend aus zwei Molekülen Glukose

Duodenum:

Zwölffingerdarm (s. Darm)

Hexosen:

Monosaccharide mit sechs Kohlenstoff-Atomen

Jejunum:

Abschnitt des Dünndarms zwischen Zwölffingerdarm und Krummdarm (s. Darm)

Ketosen:

Monosaccharide mit einer Keto-Gruppe in 2-Stellung

Laktose-Intoleranz:

Laktase-Mangel (im Dünndarm)

Laktulose:

Synthetisches, in der Natur selten (Muttermilch) vorkommendes Disaccharid aus Glukose und Galaktose, für dessen Spaltung in die entsprechenden Monosaccharide kein Enzym zur Verfügung steht

Malabsorption:

Störung der Resorption von Endprodukten der Nahrung durch die Darmwand

Monosaccharide:

Meist geradlinige Ketten aus fünf (Pentosen) oder sechs (Hexosen) Kohlenstoffatomen, von denen ein endständiges eine Aldehyd- (-CHO-)Gruppe oder ein in 2-Stellung befindliches eine Keto-Gruppe (>C=O) bildet, während die anderen außer Wasserstoff jeweils eine -OH-Gruppe tragen. Beispiele: Hexosen: Glukose, Fruktose, Mannose, Galaktose, Sorbose; Pentosen: Xylose

Oligosaccharide:

Produkte der Verknüpfung zweier (Disaccharide) oder mehrerer (Tri-, Tetrasaccharide usw.) Monosaccharide miteinander in der Weise, dass die Aldehyd- oder Keto-Gruppe des einen Monosaccharids mit einer -OH-Gruppe des anderen Monosaccharids ein Glykosid bildet

Optische Aktivität:

Alle chemischen Verbindungen mit einem oder mehreren Kohlenstoff-Atomen, die vier voneinander verschiedene Liganden tragen, drehen die Ebene des polarisierten Lichts entweder nach rechts (im Uhrzeigersinn) oder nach links (im Gegenzeigersinn). Man sagt, solche Stoffe seien optisch aktiv, rechts- bzw. linksdrehend.

Wegen der tetraedrischen Struktur solcher Kohlenstoffatome existieren die entsprechenden Moleküle in zwei verschiedenen Formen, wobei die eine das Spiegelbild der anderen ist. Diese so genannten optischen Isomere liegen entweder in reiner Form vor, insbesondere in ihren natürlichen Vorkommen, oder als äquimolekulares Gemisch beider Formen. Optische Isomere, deren molekulare Symmetrie der Symmetrie desjenigen Isomeren der Weinsäure entspricht, das die Ebene des polarisierten Lichts nach rechts dreht, werden D-Isomere genannt. Isomere, deren molekulare Symmetrie mit derjenigen der linksdrehenden Weinsäure korrespondiert, heißen L-Isomere. (Kleine Buchstaben d und l kennzeichnen den tatsächlichen Drehsinn der Ebene des polarisierten Lichts, der nicht zwangsläufig identisch ist mit dem Vorzeichen der molekularen Symmetrie selbst. Im Falle der Weinsäure ist die Übereinstimmung durch Definition herbeigeführt worden.)

Pentosen:

Monosaccharide mit fünf Kohlenstoff-Atomen

Polysaccharide:

Produkte der Koppelung von Monosacchariden miteinander in der Weise, dass die Aldehyd- oder die Keto-Gruppe des einen Monosaccharids ein Glykosid bildet mit einer OH-Gruppe eines benachbarten Monosaccharids (Stärke, Zellulose)

Resorption:

Transport von Komponenten der Nahrung in die Darmschleimhaut

Sorbit(ol):

Sechswertiger Alkohol mit linearer Kohlenstoffkette

Sorbose:

Hexose mit einer Ketogruppe in 2-Stellung

Unverträglichkeit:

Anormale Reaktion des Organismus auf ein Nahrungsmittel (Beispiel: Kuhmilch) oder einen Bestandteil eines Nahrungsmittels (Beispiele: Fruktose, Hühnereiweiß, Laktose)

Zucker:

Kristalline, wasserlösliche, meist süß schmeckende Mono- und Oligosaccharide, hauptsächlich Disaccharide; im engeren Sinne das Disaccharid Saccharose (Sukrose), das aus Zuckerrohr oder Zuckerrüben gewonnen wird

Zuckeraustauschstoffe:

Einige süß schmeckende, wasserlösliche Stoffe, die im Darmtrakt unter Bildung von Wasserstoff (bzw. Methan) vergoren werden und nicht zu den Kohlenhydraten gehören. Sorbit(ol), Xylit(ol) und andere Zuckeralkohole, in denen alle Kohlenstoffatome alkoholische OH-Gruppen tragen (Polyalkohole), kommen als Testsubstanzen für H₂- bzw. CH₄-Atemtests auch in Frage. Andere Süßungsmittel (komplizierterer chemischer Konstitution), wie Saccharin, Aspartam oder Zyklamat, deren Süßkraft die der Saccharose um ein Vielfaches übertreffen, kommen als Testsubstanzen für Atemtests nicht in Frage