

総説

呼気水素測定の意味

近藤孝晴¹⁾、藤井悠平²⁾、野田洋平²⁾

¹⁾ 中部大学生命健康科学部、²⁾ 中部大学生命健康科学研究科生命医科学専攻

要 旨

呼気水素は、1) 小腸通過時間の測定、2) 膵外分泌機能検査、3) 炭水化物の消化吸収試験、4) 腸内細菌の異常増殖、5) 薬剤の効果・副作用判定、6) 乳糖不耐症の診断などの目的で行われる。

本稿ではこれらについて概説した。

1. はじめに

呼気中には多くのガス成分が存在する。酸素、炭酸ガスなど、大気中に多量に含まれるガス成分を除いた微量ガス成分は、体内での代謝産物と考えられ、代謝系疾患の診断に有用な可能性があり、以前から注目されている。

これらの微量ガスのうち、臨床上意味のある成分としては、アセトン（糖尿病との関連）、一酸化炭素（喫煙などとの関連）、メタン（便秘との関連）、一酸化窒素（喘息との関連）、アンモニア（肝疾患との関連）、水素（乳糖不耐症との関連）などが知られている。今回はこのうち著者らが以前より測定してきた水素についてまとめた。

2. 呼気水素の由来

呼気水素は人体の代謝の結果ではなく、腸内細菌による発酵の産物である。未消化の炭水化物

（食物繊維、難消化性炭水化物）が大腸へ到達すると、腸内細菌により発酵され、短鎖脂肪酸、炭酸ガス、水素、また、一部の人ではメタンなどが産生される。炭酸ガス、水素、メタン等のガス成分のほとんどはおならとなって排泄されるが、一部は直ちに吸収され、短時間のうちに肺から排泄される。このうち水素は人体に利用されないばかりか、他の部位では産生しないという特徴がある。なお、最近、共同研究者の下内らは産生された水

素が一部体内で hydroxyl radical の消去に利用されていると報告している（1）。

3. 呼気水素測定の目的

現在まで、以下の目的で呼気の水素測定がおこなわれている。

- 1) 小腸通過時間の測定
- 2) 膵外分泌機能検査
- 3) 炭水化物の消化吸収試験
- 4) 腸内細菌の異常増殖の判定
- 5) 薬剤の効果・副作用判定
- 6) 乳糖不耐症の診断

以下、それぞれの項目について概説する。

4. 小腸通過時間の測定

正しくは、ロー盲腸通過時間である。これは、食物を摂取してから、盲腸に到達するまでの時間を測定する検査である。試験食を摂取後、呼気を15分～30分ごとに採取し、水素を測定する。水素が上昇し始めるまでの時間が小腸通過時間である。健常人では、上部消化管から小腸に至るまで、ほぼ無菌状態であり、食物が大腸に到達して初めて腸内細菌により水素が産生される。水素はヒト体内の代謝では産生されず、大腸が唯一の産生場所である。従って、呼気水素の上昇は、非消化性食物が大腸に到達したことを示す。

試験食として、ヒトが消化できない合成二糖類であるラクトロースを用いることが多い。しかし、ラクトロースはその非消化性のために消化管運

動機能に影響を与えることが知られているので、必ずしも適切な試験食とは言えない。

日本人では牛乳も試験食になる。日本人の多く

は乳糖分解酵素が欠乏しているか欠損している
ので、牛乳を飲むと呼気に水素が排出される（図
1）（2）。

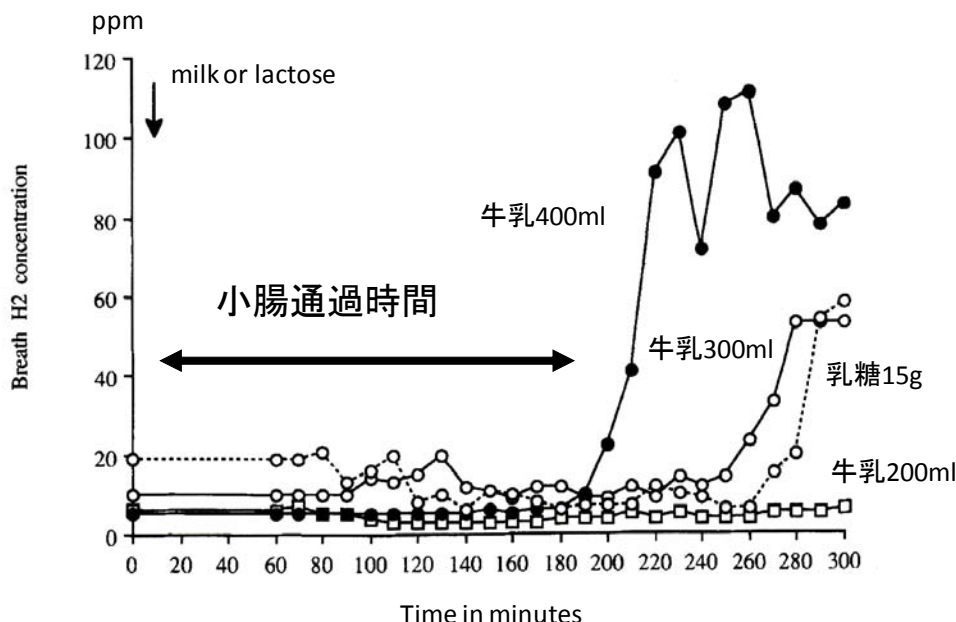


図1 牛乳による小腸通過時間の測定

ラクツロースも牛乳も、ともに形状が液体である。生理学的に見れば、できれば固形食で小腸通過時間を測定したい。その場合、食物繊維の多い食事を試験食として使用する。我々は、五目豆、御飯、味噌汁の朝食を試験食とし、良好な成績を得ている（3）。英国では、典型的な朝食である豆、ソーセージ、マッシュポテトなどが用いられている。

小腸通過時間測定の意義は、便秘や下痢の患者で、大腸だけの問題か、小腸を含む消化管全体の問題かを鑑別するために有用である。しかし、鑑別が必要な患者数は多くはない。

我々は、呼気水素測定により小腸通過時間を測定し、身体運動の影響を検討している。このような、日常生活要因が消化管機能に与える影響を検討するには、簡便で侵襲の少ない検査法といえる。

5. 膵外分泌機能検査

米粉を試験食とし、呼気水素を測定する。膵臓からの消化酵素分泌とくに炭水化物分解酵素（ア

ミラーゼ）が低下していると、呼気水素が高値を示す。炭水化物が十分に消化されず大腸に至るため、呼気水素が上昇する。これにより膵臓の外分泌機能を判定できるというものである。残念ながら、慢性膵炎では、消化酵素のうち、脂肪分解酵素がまず低下し、アミラーゼの低下は慢性膵炎の晩期にあられる。従って、日本に多い早期、軽症の慢性膵炎の診断検査としては有用ではない。

膵外分泌機能検査の呼気試験として、現在、安定同位体を使用した¹³C 脂肪呼気試験が試行されている。

6. 炭水化物の消化吸収試験

普通の食事で摂取された炭水化物の約20%は消化吸収されないとされている。しかし、どの食品が、どの程度、消化吸収され難いかにについては十分わかっていない。食物（食品）を摂取後、呼気水素を測定することにより、消化吸収の程度がわかる（図2）。100%消化吸収されないラクツロースをコントロールとして比較すると、非消化

吸収率を知ることができる。

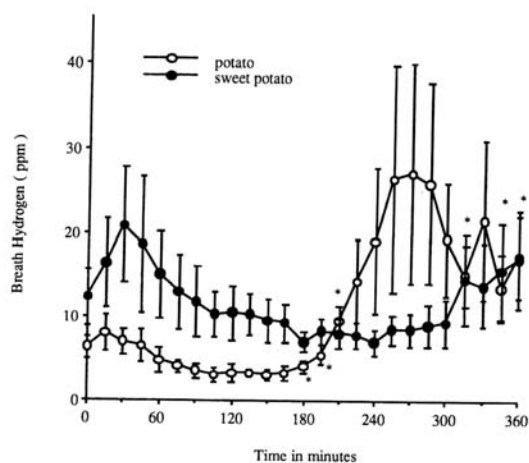


図2 ジャガイモとさつまいも摂取後の呼気水素

7. 腸内細菌の異常増殖の判定

健常人では、小腸は無菌で、大腸のみに腸内細菌が繁殖している。消化管の機能異常で小腸に細菌が増殖するようになると、消化吸収障害が出現し、栄養不良の原因となる。重症の場合は、呼気水素の測定のみで診断可能である。軽症の場合はブドウ糖負荷試験などを行う。すなわち、健常人では、ブドウ糖は小腸ですべて吸収され、呼気水素が発生しないが、腸内細菌の異常増殖があると、ブドウ糖が吸収される前に発酵を受け水素が産生され、呼気中出现する。障害を持った高齢者は体を動かせないことが多く、そのため、消化管機能が低下し、腸内細菌の異常増殖を来すことがある。このような例では、呼気水素の測定が有用である。

8. 薬剤の効果・副作用判定

肝硬変患者では、肝性脳症の原因となるアンモニア産生を減らすために、ラクツロース等を投与する。また、糖尿病患者では、糖の消化吸収を遅らせるために、 α グルコシダーゼ阻害薬を投与することがある。いずれの薬剤も呼気水素が増加するので、薬剤の効果判定に使用可能である。

9. 乳糖不耐症

乳糖を含んでいる牛乳などの乳製品を摂取すると、下痢、腹痛、腹部膨満、腹鳴、排ガス増加などの症状をきたす疾患を乳糖不耐症と呼ぶ。小腸にある乳糖分解酵素（ラクターゼ）の欠乏、欠損のため、乳糖をグルコースとガラクトースに分解できないことが本態で、乳糖が吸収されず、水分を伴って大腸に到達し、腸管を刺激して症状が発生する。現在、乳糖不耐症の診断として、1) 乳糖負荷後の臨床症状、2) 乳糖負荷後の血糖を測定、3) 小腸粘膜のラクターゼ活性を測定、4) 乳糖負荷後の呼気水素測定等が行われているが、乳糖負荷後の呼気水素測定は日本人には不向きな検査法である。なぜなら、日本人の約98%は、乳糖の摂取により水素を産生するからである。

10. おわりに

以上、呼気水素測定の意義について解説した。簡単に簡便な測定機器が利用可能であり、体内での水素消費のように十分解明されていない部分もあり、なお魅力ある研究分野である。

参考文献

- 1) Shimouchi A, Nose K, Shirai M, Kondo T; Estimation of molecular hydrogen consumption in the whole body after the ingestion of hydrogen-rich water. *Adv Exp Med Biol*, 737, 245-250, 2012
- 2) Kondo T, Liu F, Toda Y; Milk is a useful test meal for measurement of small bowel transit time. *J Gastroenterology*, 29, 715-720, 1994
- 3) Kagaya M, Iwata N, Toda Y, Nakae Y, Kondo T; Small bowel transit time in young and elderly women. *J Gastroenterology*, 32, 453-456, 1997

Title : Measurement of Breath Hydrogen

Author(s) : Takaharu Kondo¹⁾, Yuhei Fujii²⁾, Yohei Noda

近藤孝晴、藤井悠平、野田洋平

Address(es) : ¹⁾College of Life and Health Sciences,
Chubu University,

²⁾ Graduate School of Life and Health Sciences,
Chubu University

Keywords : Breath hydrogen, Small Bowel Transit
Time, Colonic Fermentation