

体水分量評価方法~TOBEC 法に関して~ Methods of Estimating Total Body Water

内山朋香, 太田裕治

Tomoka UCHIYAMA and Yuji OHTA

お茶の水女子大学大学院 ライフサイエンス専攻

生きている人間の体組成を直接調べることは不可能であり, そのために間接的な方法を用いることとなる. 1942年に Behnke, Feen, Welh- am により水中体重秤量法 underwater weighing system が確立されて以降, 体水分量・体脂肪量などの体組成成分を調べる方法として, アイトープ希釈法, 密度法, Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA: 二重 X 線吸収法) 法, カリウム法, クレアチニン法, インピーダンス法, Total Body Electrical Conductivity (TOBEC) 法等といった方法が確立されてきた. 本稿では, 体水分量 (TBW: Total Body Water) の評価法に関して述べる.

1. 体水分量評価

全身体水分量評価法としては, インピーダンス法, アイトープ法, TOBEC 法などがあり, 人体の体水分量評価は体組成評価や健康・体力管理等に利用される. 以下に各全身体水分量評価方法の概要を述べる.

①インピーダンス法 Bioelectrical Impedance Analysis: 電極を用いて微弱電流が人体に流れた際のインピーダンスを計測することにより体水分量を推定する方法である. 簡便・迅速・非侵襲計測が可能であるが, インピーダンス値から水分量を推定するために以下の仮定をおく必要がある.

- i) 人体は長さ及び断面積が一定の円とする.
- ii) 円柱は均質とする.

また, 推定式は年齢・人種・性別等により異なり, 被験者毎に適切な推定式を用いる必要がある.

②アイトープ法 Isotope Dilution: 放射性水 (トリチウム, $^3\text{H}_2\text{O}$) もしくは重水 (ドイテリウム, $^2\text{H}_2\text{O}$) を血液中に投与もしくは経口摂取し, 体内に均一に分布した後に体液や尿からその濃度を計測し, 計測濃度 (%) と投与量 (g) から体水分量を算出する方法である. 同様にアンチピリン ($\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}$) でも行うことが可能である. これらの物質は体液全体に均一に分布すること, 体内で代謝されることが必要である. 日本では重水が広く用いられる. 数時間行動が制限されるが正確な値が得られるとされている. しかし体液採取など侵襲的である.

③ TOBEC 法: 人体の導電率から体水分量を予測式を用いて推定する方法である. ソレノイドコイル内に全身を挿入し, 身体の挿入に伴う導電率変化から体水分量を推定式を用いて算出する. 測定時間が短く, 無侵襲であるという利点を有するが, 装置が高価である.

上記①~③法は現在行われている体水分量評価の主な方法である. 我々は現在生体局所部位の水分量変化を電気インピーダンス変化として検知する研究を行っている. 最終的には電磁誘導による非接触検出を目指し

ている. Riedel CHらの研究では小型ソレノイドコイルによる導電率計測 ($f = \sim 1 \text{ MHz}$) を行っている. 本稿では体水分量評価法のうち, 非接触計測である TOBEC 法に関して述べる. 2, 3, 4節では TOBEC instrument 及びその計測法の概要を述べる. 5節においては TOBEC 計測の信頼性に関して述べた文献を紹介する.

2. TOBEC

TOBEC とは電磁場を利用し体組成を予測する方法であり, 得られた導電率, 被験者の身長・体重・年齢から体組成の予測を行う. TOBEC 法は頭部を含む被験者全身の導電率評価を行うため, インピーダンス法のように電極を利用した計測ではなく, 電磁場を利用する. すなわち, ソレノイドコイル (TOBEC instrument の主要部) 内で被験者の導電率を計測し, 被験者自身の情報を数値として式に当てはめ体組成を評価する. 筋肉は約 75% の水分を含み導電率が高い. 一方, 脂肪 (絶縁組織) は 20% 程度で導電率が低い. この体成分における導電率の違いから体組成を予測する. 具体的には, 物体の電気導電率を計測するために, ソレノイドにより非接触で電流を被験者に印加し通過した電流を検出し定量化することで導電率を求める. 以下に詳細を述べる.

- 1 ソレノイドコイルに交流電流 (周波数は無線周波数帯域 2.5 MHz) が印加されると管腔内に電磁場が生じる.
- 2 この電磁場が管腔内の計測対象を通過する. (被験者にソレノイドにより渦電流が生じる.)
- 3 被験者の存在による電流変化が検知され, 導電率が求められる. (渦電流となった電子は, 再びソレノイドに入るか低導電性物質 (脂肪や骨) に妨害され熱として放出される.)

3. TOBEC instrument の種類と計測

Table 1 に TOBEC instruments の種類を示す. 計測対象により仕様が異なる.

Table1 TOBEC 計器の種類

仕様型	対象	体重 /kg	身長 /cm	固定・走査	姿勢
HP-2	乳幼児	1.5~18	~110	固定	仰臥
SA-2	小動物			固定	
HA-2	成人	14~180	制限無	走査	仰臥

HP-2 は固定式デバイス内で被験者が静止した状態で計測が行われる. SA-2 はラット等の小動物をケースに入れて計測する. HA-2 は走査型であるため被験者の大きさに制限はない. 成人向けである. Fig.1 に TOBEC

instrument (HA-2)を示す。正しい計測を行うためには導電性に影響を与えることを避け、以下のことに留意する必要がある。導電性に影響する靴、貴金属、金属とめ具・クリップ・ワイヤーのついた服は着ない。水分も計測に影響を与えるため、膀胱を空とし、身につける衣類は乾燥したものとし、室内相対湿度 60%以下とする。また被験者が脱水症状であったり極度に浮腫んだ状態であると正しい結果が得られない。また温度変化はインピーダンス計測値を大きく変化させるので、室温変化は 8℃以内とし風通しの良い場所は避けるべきである(被験者自身の体温変化は熱とともに正確に補正がなされるため問題たはならない)。最も正確な導電率計測は断食 6 時間後に得られるとされている。これは、摂取物が食後 6 時間程度で小腸を通り過ぎることと、小腸で水分の約 83%が吸収されるためであると考えられる。

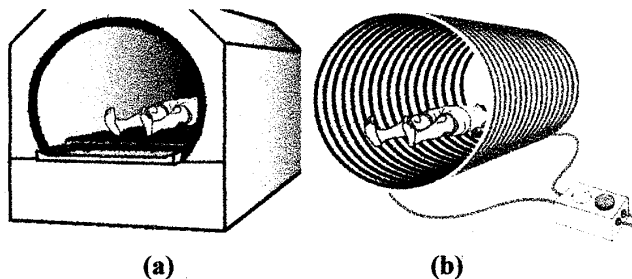


Fig.1 TOBEC 図(a)外観。(b)計測原理イメージ¹⁾

4. TOBEC により推定されるもの

TOBEC により、① percent of Body Fat: 体脂肪率(%BF)と② percent of Fat Free Mass: 除脂肪量(%FFM)すなわち%BFの逆数で、全脂肪を化学的に抽出後に残る量が予測できる(FFMはLean Body Mass(LBM: 筋肉量)は異なる。LBMは体内の細胞生成に関わるようなリン脂質などの必須脂質は排除されない)。TOBECはこれら2つの体成分(脂肪と除脂肪量)を予測することから「2成分モデル」と呼ばれる。

TOBECは正しく適応されれば、体組成解析法と比較し正確な体組成予測法でありFFM評価における誤差は5%程度とされる。これは、TOBECが組織配置や体液分布の影響を受けないためである。

5. TOBEC 法に関する研究

○TOBEC methodology for body composition assessment: a cross-validation study

Van Loan MDらは、全身導電率(TOBEC)からLBMを評価する予測方程式の正確性を横断研究により調査した。被験者は18-35才の157名の男女であった。居住地はサンフランシスコ(n=54)とニューヨーク(n=103)であった。LBMは水中秤量により調べられ、TOBECはTOBEC II 機器(HA-2, EM-SCAN Inc.)により計測された。TOBECに関してはそれぞれの地域で別々に予測方程式が立てられた。この予測方程式は若年成人に関するものであった。LBMとTOBECはサンフランシスコ・ニューヨーク両群において高い相関性があった($r=0.96$, 0.97)。LBM予測方程式の横断研究は方程式の比較と

予測LBM値の比較により行われた。2式の間には平均0.974 kgLBMの違があった($p<0.0001$)。このように、157被験者からの得られたデータが貯められ、一つの式が導かれた。この式には身長(cm)、性別($m=0$, $f=1$)、TOBEC計測値に対する0次・1次・2次のフーリエ係数(FC0, FC1, FC2)が組み込まれた。LBMにおいて相関係数は.96であり、標準誤差は2.17kgLBMであった。この研究ではTOBEC法が正確にLBMを予測できると結論付けた。

○Prediction of live lamb chemical composition utilizing electromagnetic scanning (ToBEC)

Wishmeyer DLらは、生きた子羊の化学組成の予測における正確性を決定するために全身導電率が調べられた。47頭のランブイエ種の子羊がTOBEC(HA-2)により走査された。子羊の重量は29.5-63.5kgであった。各子羊は24時間の絶食直前直後の2回走査された。化学組成はAssociation of Official Analytical Chemists(AOAC: 公認分析化学者協会)法によりDry Matter(DM), Crude Protein(CP: 粗タンパク質), Ether Extract(EE: エーテル抽出物), Ash(灰分)比率が全動物粉砕検体から決定された。除脂肪量(FFM)比率は水分比率とCP比率から計算された。相関と段階的な回帰手法が、化学組成を予測する信頼性のある独立変数の決定に使われた。独立変数にはTOBEC, 体重, 体長, 胸囲データが含まれる。HA-2モデルの再現性は非常に高い($r=0.98$)。DM, CP, EE, FFMに対して信頼性($R^2>.66$)のある予測方程式が得られた。灰分比率は独立変数からは求められなかった。体重は走査応答よりも化学組成をよく予測する。HA-2の更なる調査は、同じ体重の動物間で生体の体組成の違いを決定できるかどうか決定する必要がある。

以上のように多くの研究においてTOBEC法の信頼性が高いことが証明されている。また、電磁場を利用した非接触計測法としてTOBEC法は今後研究を非接触計測の段階に進めるに当たり参考となると考える。

References

- 1) <http://nutrition.uvm.edu/bodycomp/>
- 2) Riedel CH, Keppelen M, Nani S, Dossel O, "Capacitive effects and shielding in magnetic induction conductivity measurement", 2003.
- 3) Van Loan MD, Segal KR, Bracco EF, Mayclin P, Van Itallie TB, "TOBEC methodology for body composition assessment: a cross-validation study", 1987.
- 4) Wishmeyer DL, Snowden GD, Clark DH, Cockett NE, "Prediction of live lamb chemical composition utilizing electromagnetic scanning (ToBEC)", 1996.