

簡易な脱水指標の探索：尿比重とインピーダンスによる推定体水分量

上田博之、豊島めぐみ^{*1}

要 旨

若年成人を対象に異なる飲水条件下の運動実験および飲水制限を要求した日常生活下の調査・測定で、測定容易な尿比重や多周波インピーダンス法による体水分量の脱水指標としての有用性を検討した。トレッドミル走と自転車運動を交互に行う 75 分間の運動中の飲水量を 150mL と 900mL に設定した 2 回の運動実験において、尿比重では脱水傾向を認めることはできなかった。しかし、運動実験中の体重減少量と脱水率、運動後の多周波インピーダンス法による体水分量と脱水率は高い相関関係が認められた。日常生活下における飲水制限実験において、通常条件に比べ脱水条件で尿比重は増加傾向を示すにとどまったが、多周波数インピーダンス法による体水分量では統計的差異を認めた。これらのことから、多周波数インピーダンス法による体水分量は訪問介護・看護で実用的な脱水指標になると考えられるが、訪問介護・看護で測定する場合には、対象者の測定前の飲食や飲水行動について把握して測定誤差を考慮することが重要である。

Keyword : 脱水, 体水分量, インピーダンス法, 尿比重, 飲水量制限

1. 目的

老化に伴う発汗や皮膚血管拡張機能からなる熱放散反応の減弱¹⁾²⁾³⁾、皮膚温度感受性や口渇感の鈍化⁴⁾⁵⁾などにより高齢者の熱中症リスクは高く、これら暑熱反応特性に基づく予防策が提案されている⁶⁾⁷⁾。しかし、熱中症予防に関する指針やガイドラインは、健康な高齢者のデータに基づき策定されている。わが国では超高齢化が進むにつれて要支援・介護認定者が増加している。このような高齢者は、身体機能がより低下し、口渇感や皮膚温度感受性の鈍化から熱中症に関わる適切な水分摂取や快適な滞在温熱環境の設定がより困難になることが予想できる。軽介護度高齢者が単独高齢者世帯もしくは高齢夫婦世帯に暮らす場合、訪問した家族や介護員が熱中症の兆候を迅速に察知することが重症化防止に繋がる。

体内の水分量は皮膚血管拡張や発汗機能における熱放散反応と深くかかわることから、脱水症が熱中症リスクを高めることが知られている。そのため、家族や介護員など支援者が、訪問時に熱中症の兆候として脱水のレベルを容易に判定できれば、早期の対策を講じることができる。簡易な脱水指標として、口腔内の乾燥、爪毛細血管の再充血時間、皮膚の張りなどが一般的なアセスメントの項目とされているが、脱水症の段階を知るためには定量的指標の提案が望まれる。安全かつ簡便な身体組成測定として、尿比重⁸⁾やインピー

ダンス法⁹⁾¹⁰⁾が考えられる。屈折率を用いたデジタル比重屈折計は比較的安価で小さく簡便な装置で、訪問介護や看護において携帯や測定の負担が少ない。また、身体に微弱な電流を流した時のインピーダンスの違いを利用した多周波数生体電気インピーダンス法を用いた体組成測定装置は、近年では携帯可能な大きさとなり、訪問先の家庭で簡便に利用できる。これらの測定は運動競技選手や透析患者などの身体組成推定にもその有用性が示される¹¹⁾¹²⁾が、その一方で、運動や飲水などの状態による誤差も報告されている¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。高齢者の脱水の徴候を推定するにあたってこのような携帯用測定器を利用することは提案されておらず、訪問介護・看護における有用性は検討されていない。

本研究では、若年成人を対象とした異なる飲水条件下の運動および飲水制限を要求した日常生活で、尿比重や多周波インピーダンス法による推定体水分量の脱水指標としての有用性と可触性を検討した。

2. 方法

本研究では、1)運動実験、2)日常生活下実験で飲水量を制限して脱水状態を導き、その際の尿比重と推定体水分量が脱水指標として妥当であるかを検討する。研究に参加した被験者には、事前に実験の目的・方法・条件・測定内容及び危険性について説明し、実験への参加承諾を口頭および書面で得た。また、実験当日に

^{*1} 梅花女子大学 看護保健学部

も各被験者に身体状況を尋ね、実験内容を口頭で説明し、実験への参加を再確認した。なお、本研究は、大阪信愛学院短期大学研究倫理委員会で倫理審査を受けて承認されている「要支援・要介護在宅高齢者の脱水指標探索と熱中症防止意識向上に向けた取り組み（承認番号：R1-08 号）」の一環として行われた。

2-1 運動実験

1) 被験者

大学の陸上競技部に所属する男子学生 6 名で、年齢・身長・体重の平均値（標準偏差）は 19.3 (1.2) 歳、身長 167.9 (4.1) cm、体重 59.3 (4.7) kg であった。

2) 実験条件と手順

各被験者に対して 2 種の脱水状態〔目標脱水率 1%（通常条件）および 2%（脱水条件）〕を設定し、その前後に体重・体水分量・尿比重を測定した。運動実験は、高温環境下（気温 32℃・相対湿度 60%）でトレッドミル走（コンビウエルネス（株）AEROBIKE 75XLⅢ）と自転車運動（コンビウエルネス（株）AEROBIKE 75XLⅢ）を 15 分ずつ 5 分間の休息を挟み交互に 4 セットを行う総計 75 分間とした（図 1）。なお、運動実験は異なる日に 2 回実施し、休息時に異なる飲水量（脱水条件：50ml x 3 回、通常条件：300ml x 3 回）を摂取させ、目標脱水率の達成に努めた。なお、運動実験中の飲水は市販の水（サントリーホールディングス（株）、奥大山の天然水）を約 10℃に保って用いた。実験当日には各被験者に強い運動を控えさせ、食事の有無・体調などを確認するとともに、運動開始 60 分前には常温のミネラルウォーター 500ml を摂取させ、運動実験開始前における体水分量をコントロールした。その後、各被験者には直腸温サーミスターセンサー（肛門から 10 cm 挿入）、心拍計（POLAR RS8000CX）を装着し、下着・短パン・ソックス・運動靴を着用させ、運動実験に参加させた。

なお、各被験者の運動強度は、トレッドミル走で心拍数が 140 拍/分、自転車運動で 130 拍/分に相当する負荷を設定した。この設定には、運動実験とは異なる日に最大下負荷漸増法（各 5 分間の 4～5 段階運動負荷）で、それぞれの運動時における負荷強度と心拍数の関係式を個人の走およびペダリング運動毎に求め、

その関係式を用いた。すべての運動実験は 8 月下旬から 9 月中旬に実施した。

3) 測定項目

75 分間の運動実験の直前及び直後に体重（METTLER TOLEDO INC, ID1, 10g 感度）を測定した。これらの値から体重減少量を求め、それを運動前の体重で除して脱水率を算出した。また、同様に尿比重（㈱アダコ デジタル尿比重屈折計）と多周波数インピーダンスによる体水分量（東レメディカル（株）MLT-550N）を測定した。運動中には心拍数と直腸温を連続的に測定した（グラム（株）LT-8）。

2-2 日常生活下における飲水制限実験

1) 被験者

短期大学に所属する女子学生 8 名で、年齢・身長・体重の平均値（標準偏差）は 22.0 (2.0) 歳、身長 152.3 (5.0) cm、体重 47.3 (3.0) kg であった。

2) 実験条件と手順

3 名の被験者は 2021 年 4～5 月に終日自宅で通常の日常生活を過ごす 6 日間を、5 名の被験者は 2021 年 12 月に 8:50 から始まる短期大学の授業に通学する 6 日間を実験日とした。被験者は可能な限り連続して実験日を設定したが、3 名の被験者は中日 1 日をあけて 6 日間を実験日とした。実験日には同一時刻（6 名は起床後 5～6 時間の昼食前の 12:00 過ぎ、2 名は起床後 15～16 時間の就寝前の 24 時前後）に体水分量と尿比重を測定した。いずれの被験者も起床後から測定までの時間帯にできるだけ飲水を制限する日（飲水制限条件）と自由に飲水する日（通常条件）を 3 日ずつ設けた。なお、実験は通常の日常生活下で実施し、各被験者には通学以外の運動を避けること、過食過飲をせず、通常どおりの食事を規則正しくとることを求めた。

3) 測定項目

各被験者には、測定前日から体水分量・尿比重測定までの行動記録（場所、活動内容、発汗の有無、食事内容、排尿、排便など）を依頼した。さらに、被験者に使い捨てのプラスチック製メジャーカップと検尿用紙コップを用いて飲水量と尿量の測定・記録を求めた。なお、コーヒーやジュースなどの飲み物はすべて飲水

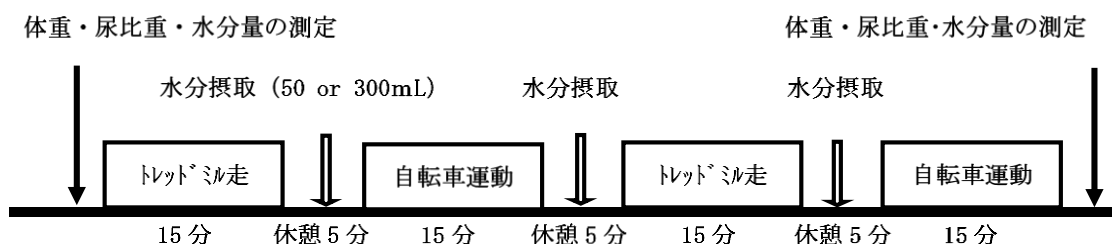


図 1 実験のプロトコル

とし、飲水量と尿量は 10mL 単位で記録された。体水分量は体組成分析装置（東レメディカル(株) MLT-550N）、尿比重はペン尿比重屈折計（(株)アダコ PEN-尿比重）を用いてそれぞれ測定した。飲水量と尿量は、測定日の起床から測定時間までの合計量を算出し、飲水制限した 3 日、自由に飲水した 3 日の各平均値を各被験者の飲水制限条件と通常条件のデータとした。

2-3 データ分析および統計処理

運動実験における各種測定項目の時系列データは、通常・脱水条件と時間（反復する運動回数など）を主効果として繰り返しのある 2 要因分散分析を行った。この検定で交互作用が認められた場合には、通常・脱水条件または時間の単純主効果の検定を実施した。時間の主効果が有意な場合は、Bonferroni 法による多重比較を実行した。各実験の水分摂取条件（脱水または飲水制限条件と通常条件）の差は対応のある t 検定を用いた。なお、すべての検定は SPSS Ver. 26 を使用し、有意水準を 5% に設定した。各条件の結果は平均値±標準誤差で表示した。

3. 結果

3-1 運動実験

1) 直腸温と心拍数

表 1 は、4 回実施した 15 分間運動の終了時における直腸温と心拍数を示す。通常・脱水条件と運動実施回

数を主効果として繰り返しのある 2 要因分散分析を行った結果、直腸温と心拍数のいずれにも有意な交互作用が認められたため（いずれも $p<.05$ ）、各条件における運動実施回数の差異、また各運動実施回の条件間の差異を検討した。

各条件において運動終了時の直腸温には有意な差が認められ（脱水： $F(3,15)=37.95$ ，通常： $F(3,15)=47.60$ ，いずれも $p<.05$ ）、いずれの条件でも、1・2 回目運動終了時に比べて 3・4 回目運動終了時が有意に高かった（ $p<.05$ ）。また、3・4 回目運動終了時、脱水条件の直腸温は通常条件に比べて高かった（3 回目： $t(5)=3.2$ ，4 回目： $t(5)=7.4$ ，いずれも $p<.05$ ）。

各条件における運動終了時の心拍数には有意な差が認められ（脱水： $F(3,15)=10.12$ ，通常： $F(3,15)=4.92$ ，いずれも $p<.05$ ）、心拍数はいずれの条件でも 1 回目運動終了時に比べて 3 回目運動終了時が有意に高く（ $p<.05$ ）、さらに脱水条件では 2 回目運動終了時に比べて 4 回目運動終了時が有意に高かった（ $p<.05$ ）。いずれの運動実施回においても脱水条件に有意な差は認められなかった。

2) 体重減少量、推定体水分、尿比重

図 2 は、運動実験における体重減少量とそれを運動前体重で除した脱水率、運動中の総発汗量、運動直後に測定した尿比重と体水分量をそれぞれ脱水条件と通常条件別に示す。なお、運動開始前における被験者の

表 1 各運動終了時の直腸温と心拍数【平均値（標準誤差）】

	条件	1回目運動		2回目運動		3回目運動		4回目運動		F値		
										脱水条件	運動回	交互作用
直腸温	通常	37.7	(0.1)	37.9	(0.1)	38.3	(0.1)* ^{1,2}	38.2	(0.1)* ^{1,2}	9.50*	47.11*	10.44*
	脱水	37.7	(0.2)	38.0	(0.1)	38.4	(0.1)* ^{1,2,通}	38.6	(0.1)* ^{1,2,通}			
心拍数	通常	150.3	(1.7)	157.0	(4.7)	160.0	(2.9)* ¹	158.3	(4.3)	1.51	8.26*	4.14*
	脱水	153.0	(2.1)	156.5	(3.6)	164.3	(1.9)* ¹	165.7	(2.8)* ²			

* $p<.05$ ¹:1回目に比べ ²:2回目比べ 通:通常条件に比べ

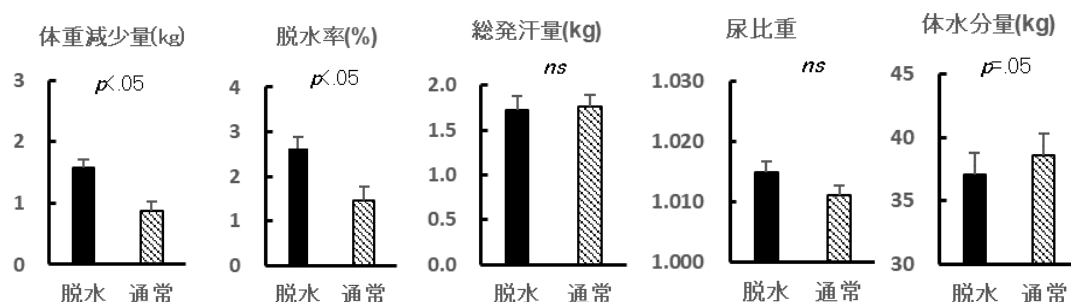


図 2 脱水・通常条件の体重減少量、脱水率、総発汗量、運動終了後の尿比重と推定体水分量

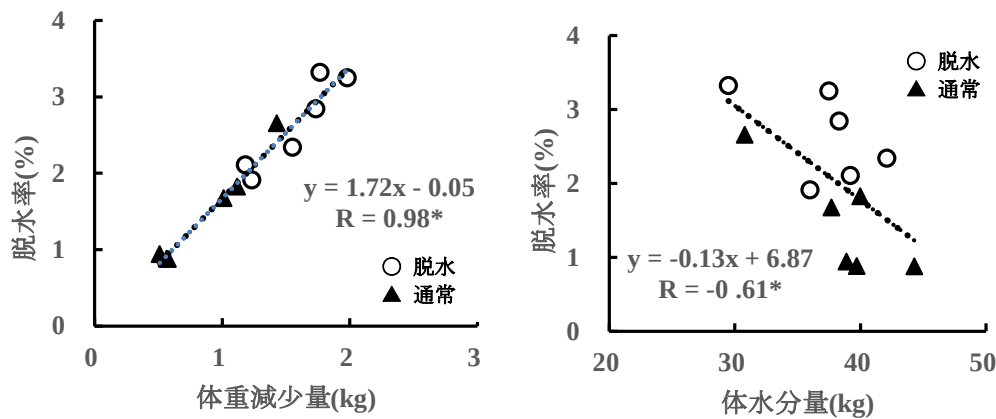


図3 体重と体水分の減少量間、および運動後の体水分量と脱水率の対応関係（個人値）

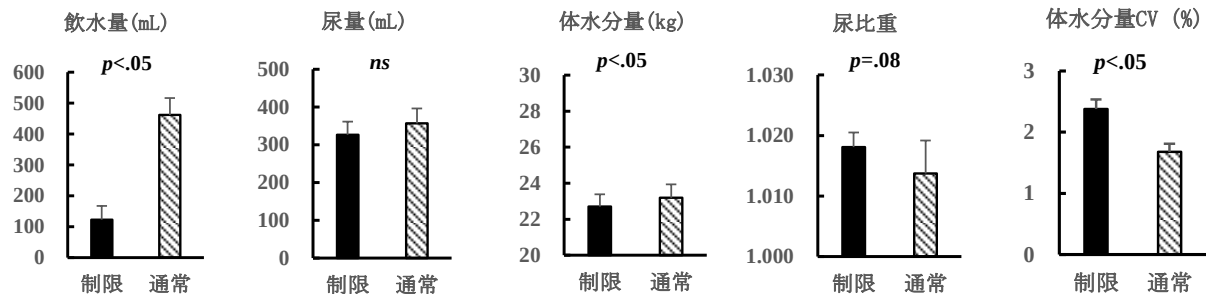


図4 日常生活活動における飲水制限・通常条件の飲水量、尿量、尿比重、推定体水分量とその変動係数 (CV)

体重は、脱水条件時 $60.4 \pm 2.0\text{kg}$ 、通常条件時 $60.0 \pm 2.0\text{kg}$ であり、条件間に有意な差はみられなかった。体重減少量は、脱水条件 ($1.58 \pm 0.13\text{kg}$) が通常条件 ($0.87 \pm 0.15\text{kg}$) より有意に多かった ($t(5)=7.24, p<.05$)。脱水率においても脱水条件 ($2.6 \pm 0.2\%$) が通常条件 ($1.5 \pm 0.3\%$) より有意に高かった ($t(5)=8.59, p<.05$)。体重減少量と飲水量から算出した運動中の総発汗量は、脱水条件 (1.73 ± 0.15) と通常条件 (1.77 ± 0.13) で有意な差はみられなかった ($t(5)=.46, p=.66$)。また、運動開始前の尿比重は脱水条件 (1.019 ± 0.004) と通常条件 (1.016 ± 0.004)、運動後における尿比重は脱水条件 (1.015 ± 0.002) と通常条件 (1.011 ± 0.002) で、運動前後とも有意な条件差はみられなかった ($t(5)=0.88, p=.41, t(5)=2.09, p=.09$)。運動開始前におけるインピーダンス法による体水分量は、脱水条件時 $38.7 \pm 1.8\text{kg}$ 、通常条件時 $39.6 \pm 1.8\text{kg}$ で有意な差はみられなかったが ($t(5)=-1.50, p=.19$)、運動後の体水分量 (kg) は脱水条件 ($37.1 \pm 1.7\text{kg}$) が通常条件 ($38.6 \pm 1.8\text{kg}$) より低値であった ($t(5)=-2.57, p=.05$)。図3は、運動実験中の体重減少量と脱水率、運動後の体水分量と脱水率の対応関係を示す。体重減少量と脱水率は強い相関関係 ($r=.98, p<.05$) を示し、運動後の体水分量と脱水率にも有意な相関関係 ($r=-.61, p<.05$) が認められた。

3-2 日常生活下における飲水制限実験

行動記録から、いずれの各被験者にも測定前日から測定まで激しい運動や運動に伴う発汗、過飲食はみられなかった。起床から測定時間までの飲水量 (mL) は、飲水制限条件において12時測定の5名では0~82 mL、24時測定の3名では117~388 mL、通常条件において12時測定の5名の263~617 mLと24時測定の3名の333~633 mLであった。図4には、飲水量、尿量、尿比重、インピーダンス法で測定した体水分量とその変動係数を条件ごとに示す。8名の平均飲水量は飲水制限条件で $122 \pm 45\text{mL}$ 、通常条件で $462 \pm 54\text{mL}$ であり、飲水制限条件の飲水量が通常条件より有意に少なかった ($t(7)=7.97, p<.05$)。起床から測定時間までの尿量は、飲水制限条件で $326 \pm 35\text{mL}$ 、通常条件で $356 \pm 39\text{mL}$ であり、条件間に有意な差は認められなかった ($t(7)=0.77, p=.47$)。尿比重は飲水制限条件 (1.018 ± 0.001) と通常条件 (1.014 ± 0.002) に有意な差はみられなかった ($t(7)=-2.07, p=.08$)。体水分量は飲水制限条件 ($22.7 \pm 0.7\text{kg}$) が通常条件 ($23.2 \pm 0.7\text{kg}$) より有意に少なかった ($t(7)=3.21, p<.05$)。また、体水分量の変動係数 (CV) は、通常条件 (1.7 ± 0.3) に比べて飲水制限条件 (2.4 ± 0.4) において有意に大きかった ($t(7)=-2.44, p<.05$)。

4. 考察

運動実験における通常・脱水条件の心拍数に差が認められなかったことから、各被験者の2回の実験で同等の運動負荷が与えられたと考えられる。運動実験の3回の休息時間に、脱水条件では総計150mL、通常条件では総計900mLの水分を補給する条件を設定した。運動に伴う体重減少量は脱水条件で1.58kg、通常条件で0.87kgであったことから、補給水分量を考慮すれば総発汗量は脱水条件と通常条件(1.73kg vs 1.77kg)で同等であった。脱水時の深部体温と発汗量の対応関係は非脱水時と異なり、体温上昇に対する発汗量の増加は低下するために同一体温当たりの発汗量は減少する。本実験の3,4回目の運動終了時の直腸温は、通常条件に比べて脱水条件で高くなったことから、脱水条件に伴う発汗量の低下を高い深部体温による発汗量の増加が相殺し、総発汗量は同等になったと推察できる。したがって、運動実験での2条件間の脱水率の差異は飲水量の相違を反映したと考えられる。

運動実験におけるこれら異なる2つ条件の差を尿比重で判定することはできなかった。尿濃縮が主に血漿浸透圧に基づく抗利尿ホルモンとその感受性など腎機能に依存することから¹⁶⁾、これまでサッカーなどハードワークを必要とする競技の合宿などにおいて脱水予防に向けて尿浸透圧とともに尿比重が脱水の指標として利用されている⁹⁾¹⁰⁾。しかし、本実験のような短時間の中等強度運動では、尿比重に明確な差異は認められないと推察する。一方、多周波数インピーダンス法により測定した体水分量は、運動実験において体水分の差異を認めた。また、日常生活下における飲水制限実験において、尿比重屈折計では比重が異なる傾向を示すにとどまったが、多周波数インピーダンス法による体水分量では統計的差異を認めた。いずれの測定も1回の測定で体水分減少傾向を推定できることからすると、訪問介護・看護での利用は実用的である。本実験において、運動中の体重減少量は脱水率と高い相関関係があり、多周波数インピーダンス法により測定した体水分量と脱水率にも有意な相関関係が認められたことや日常生活下における飲水制限実験で脱水傾向を検出できたことから、多周波数インピーダンス法による体水分量は訪問介護・看護で実用的な脱水指標になると考えられる。

日常生活下の脱水条件で測定された体水分量は、被検者内のCVが大きくなった。多周波数インピーダンス法は体内水分管理に臨床応用されるが¹⁷⁾¹⁸⁾、一方で運動や飲水の影響が報告されている¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。訪問看護や介護における測定では、対象者の激しい運動はほとんどなく、測定前に一定時間の安静を保持することで運動の影響は避けることができる。しかし、飲食や飲

水による測定誤差には注意する必要があると考えられる。日常生活下における飲水制限実験では、行動記録から測定前に歩行以上の強い運動はなく、測定前に安静を保ったために、運動の影響は排除できたと考えられる。しかし、飲水行動は個人により異なり、測定前3時間に限ってみても、いずれの条件も5名の被験者で飲水行動があり、飲水量は脱水条件で60~200mL、通常条件で150~900mLであった。Deurenbergら¹⁴⁾は、200mLの茶を飲んでも生体インピーダンスに影響のないことを報告している。これに対して、佐藤ら¹⁵⁾は体重1kgあたり6.7mLの飲水が生体インピーダンスの安定化を導くことを報告している、この量を本実験の被験者の体重に当てはめると315mL程度になり、本実験の通常条件では飲水が生体インピーダンスの変動を抑えた可能性が考えられる。このことからすれば、訪問介護・看護で多周波数インピーダンス法による体水分量測定する場合には、対象者の測定前の飲食や飲水行動について把握して測定誤差を考慮することが重要である。

本研究では、運動実験で6名、日常生活下の水分制限実験で8名の若年成人を対象とし、被験者数と年齢において研究の限界を含んでいる。また、日常生活下の測定は高精度の体重秤量を欠くことにも限界がある。今後は測定人数や年齢層を変えて、基準となる体重秤量を加えて評価することが望まれる。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金(19K11186, 代表: 上田博之)の一環として実施したものである。本研究の実施に際し、ご協力いただいた被験者の方々に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) Inoue Y, Nakao M, Araki T, et al. Regional differences in the sweating responses of older and younger men. *J Appl Physiol* 71(6): 2453-2459, 1991.
- 2) Inoue Y, Shibasaki M. Regional differences in age-related decrements of the cutaneous vascular and sweating responses to passive heating. *Eur J Appl Physiol* 74(1-2): 78-84, 1996.
- 3) Inoue Y, Kuwahara T, Araki T. Maturation- and aging-related changes in heat loss effector function. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 23(6): 289-294, 2004.
- 4) Inoue Y, Gerrett N, Ichinose-Kuwahara T, et al. Sex differences in age-related changes on peripheral warm and cold innocuous thermal sensitivity. *Physiol Behav* 164:86-92, 2016.
- 5) 井上芳光, 米浪直子, 小倉幸雄, 他. 夏季スポーツ

- 活動時における発汗量と水分補給量の年齢差. 体力科学 51(2):235-244, 2002.
- 6) 熱中症保健指導マニュアル (平成 30 年 3 月改訂). 環境省環境保健部環境安全課. 2018.
- 7) 日本生気象学会. 日常生活における熱中症予防指針 (Ver.3). 日本生気象学会雑誌 50(1): 49-59, 2013.
- 8) Cheuvront SN, Ely BR, Kenefick RW, Sawka MN. Biological Variation and Diagnostic Accuracy of Dehydration Assessment Markers. American Journal of Clinical Nutrition 92(3), 565-573, 2010.
- 9) 田中喜代治, 奥野淳, 藤本誉博, 他. 多周波数インピーダンス法による身体組成評価の有用性－DEXA 法および体水分法との比較から－. 肥満研究 6 (1):68-75, 2000.
- 10) 山本貴志子, 西亀正之. 多周波数インピーダンス法による日本成人の身体組成評価－体脂肪と体水分の年齢比較－. 広大医誌 48 (4):259-266, 2000.
- 11) 吉野昌恵, 袴田智子, 元永恵子, 他. パラアルペンスキーナショナルチームに対する栄養サポート－脱水予防と体重管理を中心としたコンディショニングに関する一考察－. Sports Science in Elite Athlete Support 3:79-92, 2018.
- 12) 安田従生, 大江明宏, 河合洋二郎, 他. Application of Non-invasive Methods in Assessment of Hydration Status following Habitual Training in Male Collegiate Soccer Players. 環太平洋大学研究紀要 7:317-322, 2013.
- 13) 中塘二三生, 渡辺完児, 田中喜代治. Bioelectrical Impedance 法による身体組成評価－測定条件の差異が BI に及ぼす影響－. 肥満研究 2(1):9-45, 1996.
- 14) Deurenberg P, Weststrate JA, Paymans I, et al. Factors Affecting Bioelectrical Impedance Measurements in Humans. Eur J Clin Nutr 42:1017-1022, 1988.
- 15) 佐藤厚子, 李相潤, 畠山愛生, 他. 体電気インピーダンス法(Bioelectrical impedance analysis; BIA 法)における絶飲食と飲水の影響. 体力科学 60(5):483-492, 2011.
- 16) 佐々木成. 浮腫と脱水, 濃縮と希釈の考え方. 日腎会誌 50(2):97-99, 2008.
- 17) 柴田昌典, 長尾尋智, 森郭實司, 他. 維持透析患者の適正所水量決定における生体電氣的インピーダンス法の有用性－14 施設にわたる大規模研究－, 日本血液浄化技術学会会誌 19(1):3-11, 2011.
- 18) 長尾尋智, 神崎将克, 武安美希子. 透析医工学の最前線 透析関連技術の進歩 (6) 体内水分組成モニタを利用した水分管理. 臨牀透析 35 (5):2-6, 2019.

受理 2023 年 3 月 11 日

公開 2023 年 3 月 31 日

<連絡先>

上田博之

〒538-0053 大阪市鶴見区鶴見 6-2-28

大阪信愛学院短期大学 看護学科

E-mail : ueda@osaka-shinai.ac.jp