

原著

家庭での塩分、カリウム摂取量測定法の検討

山末耕太郎* 河野英一^{2*} 左近聖子*
大重賢治* 朽久保修*

要約 高血圧予防、治療のために重要な食塩 (NaCl) とカリウム摂取量を目標レベルにするには家庭で日々簡易に測定できる装置が必要である。これらの電解質は大部分尿に排泄されるので、尿の簡易分析法を検討した。日常生活における 24 時間尿の採取は勤務者では困難なので、夜間尿を使用し、24 時間分を推定する方式を検討した。250 名の夜間尿 (約 8 時間相当) 中の食塩量 (X) と 24 時間尿中の量 (Y) との相関係数および回帰式は 0.75 ($p < 0.001$)、 $Y = 1.95X + 4.54$ (g / 日)、カリウムについては相関係数 0.71 ($p < 0.001$)、 $Y = 2.32X + 1.03$ (g / 日) であった。食塩量はイオン電極法で分析された Na イオン濃度から求めた NaCl 量と高い相関度 ($r = 0.92$) が得られた電導度法、尿量は抵抗測定法を採用し、温度補償部、演算部、尿カップ、1 日の食塩排泄量表示部からなる新しい尿塩分計を開発した。この塩分計を使用して測定した 1 日の推定食塩排泄量と 24 時間尿をイオン電極法で測定したものととの相関係数は 0.71 ($n = 159, p < 0.01$) であった。十分ではないが日々の管理には使用可能なレベルである。食塩やカリウムの濃度測定精度を更に上げるものとして、平面型イオン電極を用いたコンパクト塩分計 (堀場 C-121) カリウム用コンパクトイオンメータ (C-131) は原尿分析の場合は通常イオン電極法測定 (希釈尿使用) より低めに出るが相関度は高く、関数式で補正すれば十分使用できるレベルである。

キーワード : 尿中食塩、尿中カリウム、夜間尿、高血圧、塩分計、コンパクトイオンメータ

(日循環防誌 39 : 157-163, 204)

緒言

高血圧や胃がんに関与する食塩の摂取量は健康日本 21 では 10 g 未満/日、WHO では 5 g 以下が目標とされている。国民の栄養調査報告では¹⁾日本人の平均の 1 日の食塩摂取量は 11.4 g と以前よりは減少しているが 50 ~ 69 歳の男性は 13.5 g というように未だ多いレベルである。最近の遺伝子研究も含めて、食塩感受性のない人もいるが、少なくとも半数以上、日本人の場合は 80 % 位は感受性がある可能性が報告されている²⁾³⁾⁴⁾し、胃がん予防の観点からも減塩は依然重要な課題である。一方、カリウムは 3.5g 以上という目標に対し、平均は 2.4 g レベルと報告されているが、自分が日々どの位摂取しているのか自覚していない人が多い。

我々は広域ユビキタスメディカル IT システム (UMITS) の一環として、各自が家庭で日々の食塩やカリウムの摂取量を測定し、テレメータで UMITS にデータを送り、血圧、体重などのデータ

と共に管理していくことを考えている。そのために摂取量の大部分が排出されると言われている⁵⁾⁶⁾⁷⁾尿中の食塩やカリウムの含有量を、簡単に、安価な方法で測定できる装置を開発し、1 日の摂取量を毎朝、家庭で瞬時に測定でき、自己管理や指導管理できることを目的として研究を行った。

方法

24 時間尿を採尿することは一部の人を除いては難しい。スポット尿から、クレアチニン量を分析し、身長、体重、年齢からや、除脂肪体重から推定した 1 日のクレアチニン排出量との比を利用して 1 日の排泄量を推定する方法が行われているが⁸⁾⁹⁾クレアチニンの安価な測定法が今のところない。夜間尿は大部分の人が採尿可能であるが 24 時間尿との相関が高いという報告¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾から低いという報告¹³⁾もある。どのような方法をとれば比較的高い相関が得られるかを含めて、夜間尿から 24 時間尿中の食塩やカリウム量を推測することを検討した。

夜間尿中の食塩やカリウム量を測定するには尿量と濃度を測定する必要がある。尿量を測定するには重量を測定し、比重で割る重量法やメスシリ

*横浜市立大学大学院 医学研究科 情報システム予防医学
(〒236-0004 横浜市金沢区福浦3-9)

²河野エムイー研究所

受付・受理日 2004 年 8 月

ンダーに移して、目盛りを読み取る方法があるが家庭で行うには面倒である。濃度測定にはイオン電極法や炎光分析が一般的に行われるが高価であり、家庭では使用できない。ナトリウムイオンの代わりに、ほぼ等価存在するClイオンを検出するソルトペーパー¹⁴⁾や電導度法による市販の塩分計を利用して測定する方法¹⁵⁾が知られているが、前者はつける尿の量の影響を受けたり、変化した色を読み取るのに個人差が見られる問題があった。後者は濃度は測定できても24時間尿を使用しないと1日の排泄量はわからなかった。

これらの問題を解決するために、家庭で簡単に安価な方法で1日の尿中への排泄量を推定できる装置の検討とその精度を調べた。

1. 夜間尿中の食塩量から24時間尿中の量の推定

夜間尿は就寝前に排尿し、就寝後から、起床時1回目までの尿を採取。24時間尿は24時間蓄尿装置¹⁶⁾(ユリンメートP)を用いて各回の1/50を採尿した後、夜間のみは1Lのポリビンに残りの全量を採取してもらった。24時間尿と夜間尿の尿量は重量を天秤(メトラP-1000N)で測り、屈折法で求めた比重で割り求め、イオン電極法によるナトリウム分析(SRL社に依頼)から食塩濃度を出し、量と濃度の積算で夜間尿と24時間尿中の食塩量の相関性を求め、回帰式(1)に基づいて算出した。

$$\text{NaCl}_{24} = \text{NaCl}_n \times V_n \times \dots + \dots \quad (1)$$

(NaCl_{24} : 24時間尿中の食塩量<g>, NaCl_n : 夜間尿の食塩濃度<g/l>, V_n : 夜間尿量<リットル>)

21歳から29歳までの医学生と、34歳から80歳までのM町の保健センター主催の健康診断の同意が得られた323名の方から採取してもらった。

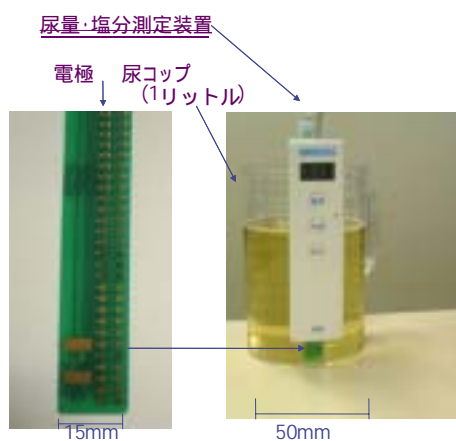


図1 新塩分計

就寝、起床時間、採尿時間を記入してもらい、記入もれ、採尿ミスがあった人は除外した。起床前8時間を目標に排尿し、それは採尿しないで、その後の起床後の第1回目までの尿を採尿して頂いたが8時間に達しない人、8時間をオーバーした人がかなりあり、その場合は尿量を8時間に換算して計算した。除脂肪体重(LBM)と24時間尿中のクレアチニンが相関が高い⁹⁾ことから、除脂肪体重から24時間尿のクレアチニンを式(2)で算出した。

$$\text{Pr.Ucr24} = 0.032 \times \text{LBM} - 0.315 \quad (2)$$

この24時間の推定クレアチニン量(Pr.Ucr24)と24時間尿中のクレアチニンの分析量が30%以上はずれている人は、24時間尿の採尿にミスがあったと推定し除外した。除脂肪体重はインピーダンス法によるオムロン体脂肪計(HBF-302)を使用して、体脂肪量を出し、体重から引いて算出した。上記の採尿ミス、記入もれ、24時間尿の採取に問題があったと思われる人を除いた250名(21歳から79歳。男子63名、女子187名)を対象者とした。

2. 新尿塩分計

取手付き円筒形の1リットル容器と容器の底まで浸漬した抵抗体の抵抗が量によって変化することを利用して、抵抗の量との関係の検量線を作り、抵抗値から尿量を算出した。食塩濃度の測定のための電導度センサーはニッケル板に金メッキしたものを使用して(図1)0.3%から2.5%の食塩水を使用して濃度と電導度の検量線を作り、電導度から濃度を求めた。電導度は温度により異なるので、サ-ミスタ-をつけ、液の温度をキャッチし、補償できるようにした(1で約2%補償)。

253名の尿検体でこの方法で求めた濃度とイオン電極法(SRL社)で求めた濃度と比較して回帰分析を行い、高い相関度を確認したが補正が必要で回帰式を求め補正した。この方法で求めた尿中



図2 コンパクトイオンメータ(HORIBA C-121とC-131)

の食塩濃度と、抵抗法で求めた尿量を式(1)に代入し、24時間の塩分排泄量を演算部で算出し、パネルに表示した。次にこの表示された食塩量と24時間尿をイオン電極分析したものとを159名で比較した。

3. コンパクトイオンメータ

他の簡易食塩濃度測定装置として、主として産業用で使用されているイオン電極の応答膜にポリ塩化ビニルを固体膜としたプラスチック固体膜を使用した堀場製作所製のシート型コンパクト塩分計 C-121¹⁷⁾ (本体寸法 95mm x 55mm x 9mm)も検討した。(図2)

4. 夜間尿中のカリウムから24時間尿中のカリウムの推定可能性と尿中のカリウムの簡易分析法の検討

塩分計で測定した人と同じ検体を用いて、夜間8時間尿中のカリウム量と、24時間尿中のカリウム量との相関を調べた。分析法としてカリウムは液の電導度とも相関するので、本塩分計で測定する方法と古くから化学分析で使用されている、ヘキサニトロコバルト酸ナトリウムや、ナトリウム4フェニルボロン(商品名カリボ-ル)を適用した化学方式と、コンパクトカリウムイオンメータとして堀場製作所製のC-131で測定したものを分析会社のイオン電極法による結果と比較検討した⁽¹⁷⁾。

5. 統計解析方法

Excel 統計 2000 と SPSS 11 for Windows により、線型回帰解析を行なった。

6. 尿中成分の定量分析

Na, K, クレアチニン、比重の測定はBML社およびSRL社に依頼した。

結果

1. 夜間尿中の食塩量から24時間の食塩排泄量の推定

夜間尿から算出した24時間の尿中の食塩量は、実際の24時間尿とは夜間尿の採取時間の個人差もあり、相関係数は0.6レベル(p<0.001)であったが、就寝前の排尿(この時点は採尿しない)から起床後第1回目の採尿までの時間を8時間に補正し、除脂肪体重から算出した24時間クレアチニン排出量が実際の24時間クレアチニン排出量と30%以上ずれた人(24時間尿の採尿に問題があったと推定)は除外し、夜間の時間(就寝前排尿から起床時1回目の採尿までの時間)を8時間

に換算して夜間尿中の食塩量と24時間尿中の食塩量の関係を調べた(図3)。表1に蓄尿対象者の男女別の人数、平均年齢、身長、体重、除脂肪体重、24時間尿中のクレアチニン量を示した。

食塩の量は分析会社(SRL社およびBML社)でイオン電極法でナトリウムイオンの分析したものを食塩量に換算した。

夜間尿中の食塩量と24時間尿中の食塩量との間の関係を、男性のみの場合(n=63)女性の場合(n=187)男女混合の場合(n=250)での相関性を調べ、回帰直線の当てはまりの良さを調べる誤差分散推定値(Mean Square Error)として24時間尿の食塩量分析値と夜間尿からの推定値の差の2乗和を(n-2)で割った値を求めた。

男性のみの場合: $Y=1.82X+4.6$ (3) $r=0.74$

誤差分散推定値 = 5.51

女性の場合: $Y=2X+4.48$ (4) $r=0.75$

誤差分散推定値 = 5.41

男女混合の場合: $Y=1.95X+4.54$ (5) $r=0.74$

誤差分散推定値 男性: 5.57、
女性: 5.38

X: 夜間尿中の食塩量

Y: 24時間尿中の食塩量

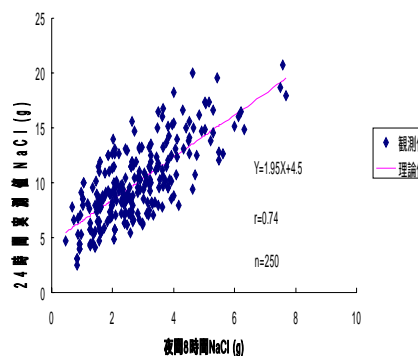


図3 夜間尿中の食塩と24時間尿中の食塩量

表1 夜間尿、24時間蓄尿対象者

	男性(62名)	女性(188名)
年齢(才)	47.4 ± 22.3	56 ± 13.8
身長(cm)	169 ± 7.3	155.1 ± 6.3
体重(kg)	64.8 ± 9.2	52.9 ± 7.5
除脂肪体重(kg)	52.0 ± 7.5	37.5 ± 4.2
UCr ₂₄ (g/day)	1.50 ± 0.47	0.94 ± 0.18

データは平均値 ± 標準偏差。

除脂肪体重 = 体重 - 脂肪の重さ (= 体重 × 体脂肪率)

UCr₂₄ = 24時間尿のクレアチニン排泄量

表2 夜間尿と24時間尿の食塩排泄量分析値と夜間尿からの推測地

	男性(n=62)	女性(n=188)
24時間尿食塩(g/日)	9.9±3.4	9.9±3.5
24時間尿量(ml)	1455±593	1464±566
夜間尿中の食塩(g/8時間)	2.9±1.4	2.7±1.3
夜間尿量(ml)	449±265	85±244
式(3),(4)から推定した	9.95±2.5	9.92±2.6
24時間食塩排泄量(g)		
回帰直線からの標準偏差(g)	2.36	2.32
式(5)から推定した	10.2±2.7	9.8±2.5
24時間食塩排泄量(g)		
回帰直線からの標準偏差(g)	2.36	2.32

データは平均値±標準偏差

$$\text{回帰直線からの標準偏差}(s_e) = \sqrt{\frac{\sum(Y_1 - Y_2)^2}{n - 2}}$$

Y1, 推定された24時間食塩排泄量

Y2, 24時間尿中の食塩(分析会社イオン電極法)

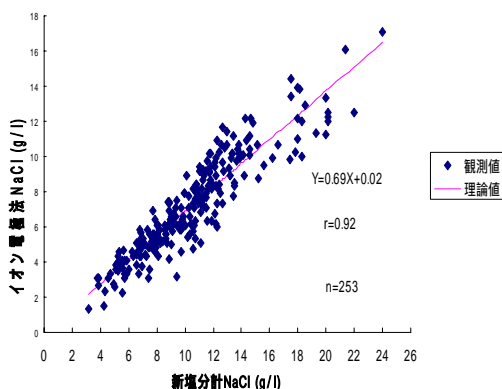


図4 塩分計とイオン電極法尿中食塩濃度の違い

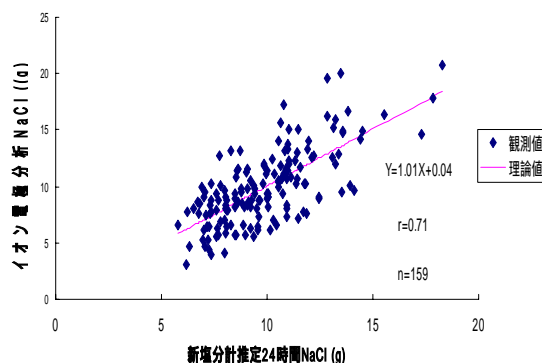


図5 新塩分計24時間推定食塩排泄量と24時間尿分析値

表2に、夜間尿、および24時間尿中の食塩量の分析値と夜間尿から推定した24時間排泄量、そのあてはまりの程度を示す誤差分散の平方根(Standard error of the Estimate)を示す。男

女別の式を導入した場合との差は少なかったため、統合した式(5)を採用した。

2. 尿量の測定

尿量を測定する抵抗体として、分極の少ないものとして、カ-ボンを含む樹脂を基板上にスクリーン印刷したシートが有望であったが、印刷の膜厚の管理が難しく、再現性の問題があった。市販の1Kのチップ抵抗を購入し、連結したものが安定でこれを採用した。食塩水で電圧の逆数(抵抗と関連)と量との検量線を作り、尿に適用した。この方法で得られた尿量は天秤で重量測定し、比重で割った量と比較し、ほぼ同じ値が得られることを確認した(r=0.99)。

3. 塩分濃度の測定

塩分測定用の電極としては、ニッケル板に金メッキしたものを採用した。使用回数が多くなると、表面に腐食が見られたので、メッキの厚みを厚くし、電解メッキで密度を上げて対処した。濃度の異なった食塩水を用い、電圧(電導度に関連)との関係を調べ検量線を作成した。尿中で測定した塩分濃度はイオン電極で分析した食塩量より高く出るが、相関係数は0.92(n=253, p<0.001)で比較的高いものが得られた(図4)。回帰式はY=0.69X+0.02(g) (6)

(X:塩分計濃度<g/l> Y:分析食塩濃度<g/l>)

4. 新塩分計による1日の食塩摂取量の推定

夜間尿を図1の1リットルの容器にとり、新しく開発した塩分計(量、塩濃度測定)で夜間尿を測り、塩濃度を(6)式に代入し、食塩濃度を出し、量と濃度を掛け合わせて、夜間尿中の食塩の量を出し、式(5)で、算出される24時間の推定食塩排泄量を計算し表示した。測定対象者の内訳と、結果の平均値とばらつきは表3に示した。24時間尿分析結果との関係は図5に示される。その相関係数は0.71(n=159, p<0.001)であった。24時間尿の分析値との誤差変動は従来のイオン電極法で分析したものにやや劣るレベルで、約70%の人が24時間尿分析値に対し、20%強のばらつきに入っていた。高塩分摂取者(10g以上/日)に対する予測精度 sensitivity /specificity)は78%レベルで、十分ではないが、日々の食塩摂取

量の管理に使用できる精度と思われる。

5. 電導度法以外の簡易塩化ナトリウム測定法

電導度法よりは価格は高くなるが産業分野で使用されている堀場製作所のカードタイプのイオン電極法の塩分計 C-121 で尿検体を測定し、日常尿検体の測定をしている分析会社に依頼した（イオン電極法）結果と比較した。尿を分析会社のように 10~20 倍に希釈するとほぼ同じ値を示したが、原尿で使用すると図 6 に示されるように従来法の分析値より低くするが、相関係数は 0.98 と高く、関数式 ($Y=1.22X+0.35(g/l)$) で補正すれば濃度測定としては精度が高い。1 日ごとに標準液での補正は必要だが、液量はごく微量（約 0.25ml 使用）

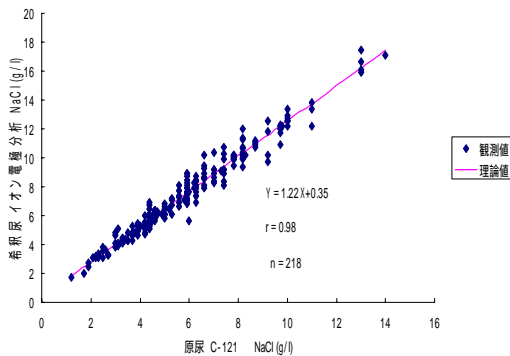


図6 コンパクト塩分計C-121(原尿使用) と希釈尿イオン電極法分析の食塩濃度比較

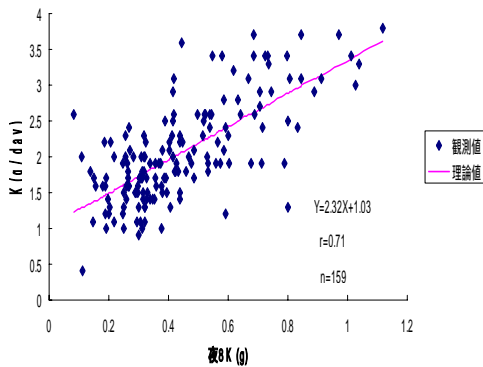


図7 夜間尿中と24時間中カリウム量排泄量

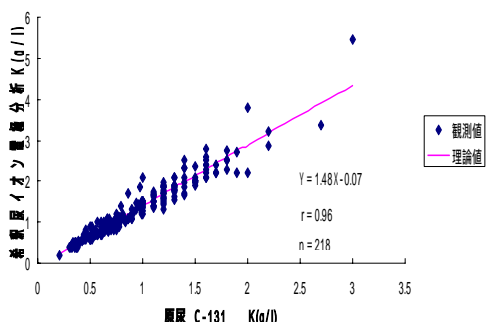


図8 カリウムイオンメータC-131と通常イオン分析比較

で済むこと、尿の原液使用で使用でき、センサー耐久性も8ヶ月間600回位使用したが問題なく、もう少し値段が安くできれば、家庭用として普及可能と思われる。

6. 夜間尿からの1日のカリウム排泄量の推定

夜間尿(8時間補正)中のカリウム量と24時間尿中のカリウム量との関係は図7に示されるように $r=0.71(p<0.001)$ で食塩よりはやや劣るレベルであった。夜間尿と24時間尿との関数式は $Y=2.32X+1.03(g)$ (5) であった。

7. 尿中のカリウム測定法の検討

電導度測定による方法は濃度との相関はあるが ($r=0.64, p<0.001$) 不十分であった。ヘキサコバルト() 酸ナトリウムやナトリウム4フエニルポロンナトリウムは尿中のカリウムイオンと反応し、沈殿を作るが、沈殿量の再現性が悪かった。

堀場製作所のカリウムイオンメータ C-131 を検討した。この場合も希釈尿では従来法の分析値とほぼ一致したが原尿の場合は図8に示されるように絶対値は低くするが分析値との相関係数は 0.96 と高く、約 1.48 倍すれば従来法の値に近づく。価格が¥32,000 で通常のイオンメータよりはかなり安い塩分計同様に家庭用としてはやや高く、もう少し安く出されれば家庭用に普及できると思われる。

考察

本研究の目的は高血圧の予防のために、家庭で日々の食塩や、カリウムの摂取量を簡単に測定できる方法を確立することである。最近若年層の肥満、高血圧の問題が出ているが、これらの問題も家庭での血圧や体重測定などとともに食塩やカリウムの測定などが自己評価できるようになれば自己管理にかなり役立つと思われる。

食塩やカリウムは大部分が尿中に排泄されることから、これらの尿中の量を簡単に測定することを検討した。尿としては24時間尿が精度が高いが、採尿が大変である。また夜間尿やスポット尿を用いて、クレアチニン量を基準にして測定する方法はクレアチニンの測定が家庭でできる安価で簡易な方法が未だない。本研究では夜間尿を用いて簡単に1日の食塩排泄量を表示する新しい塩分計を作成した。

新塩分計で夜間尿から24時間の排泄量を推定したものと、24時間尿を従来法で分析したものと十分一致しない主原因は夜間尿と24時間尿と

の相関が十分でないことが主因である。

Knuiman 等¹¹⁾は8歳から9歳のオランダの少年28人に連続して7日間の夜間尿と24時間尿の関係を調べ、塩化ナトリウムでは相関係数0.95レベルの高い相関が得られたと報告し、高い相関を得るには1日だけでなく、数日間の連続のデータが必要だと述べている。我々も10日間の連続測定で夜間尿と24時間尿の対応を調べ、3日間の移動平均をとると各個人ごとには高い相関係数(0.85~0.87)が得られたが、個人間の差があり、個人ごとには夜間と24時間の関数式を変える必要が考えられた。この理由は夜間の食事の時間が個人差があり、寝る前に飲食した場合の影響や、脳の下垂体から出る抗利尿ホルモン(ADH)が一般には夜間に分泌され、夜間尿が減るが、個人差があり、夜間に尿量が多い人がかなり見られることや腎機能の個人差によるものと思われる。従って、厳密には各人にあった夜間尿から24時間への関数式を適用するのが理想である。しかしながら、本塩分計を使用して夜間尿で日々の測定をした場合に絶対値は24時間尿のものと異なる人もいるが、各個人の数週間の塩分排泄量と早朝血圧との間の関係を調べ、各個人ごとに目標の塩分量を決める中で正常血圧を維持する手段として非常に有効である。各個人の塩分感受性の違いによってもその目標値は変わって来ると思われる。

新塩分計は電導度で塩濃度を測定するものであるので、尿中の塩化ナトリウム以外の他の電解質(K, Mg, Ca)の影響を受ける可能性は予想された。Mgや、Caイオンは量的に少ないが、Kはかなり含まれている。イオン電極法で分析したNaとの相関係数が0.92と比較的高かったのは、Kのモル量がNaの平均的に1/4位であること、Naの多い人はKも多い傾向がある(今回の場合、相関係数は0.49, $p < 0.001$)ためと考えられる。ナトリウムが少なく、カリウムがかなり多い人は253名中数名であった。

分析機関で分析した夜間尿からの24時間尿中の食塩量推定での回帰式との当てはまり方と、今回の塩分計で測定したものと表3に示されるように前者が少し良いが差は少ない。しかしながら分析としての精度を更にするためには図6に示されるように、堀場製作所製のC-121を使用した方がより向上する。特にカリウムの場合は日々の管理のためにはC-131レベルのものが必要である。C-121やC-131は測定時の尿量は0.2ml程度

で可能なので、24時間尿の採尿容器のユリンメートPを用いて、夜間尿の1/50だけを取り、その濃度と量から24時間の塩分量やカリウム排泄量を推定することも可能である。

将来的には新塩分計にこれらのイオンセンサーが組みこまれば食塩、カリウムの両方の管理がより容易に、精度よく出来ると思われる。

文献

- 1) 健康・栄養情報研究会. 国民栄養の現状 平成14年厚生労働省国民栄養調査結果. 東京: 第一出版, 2004; 156-157.
- 2) 藤田敏郎. 食塩と高血圧. 東京: 日本医学出版, 2002; 15-21.
- 3) Katsuya T, Ishikawa K, Sugimoto K et al. Salt Sensitivity of Japanese from the Viewpoint of Gene Polymorphism. Hypertension Res 2003; Vol 26:521-525.
- 4) Hunt SC, Cook NR, Oberman A et al. Angiotensinogen genotype, sodium reduction, Weight Loss, and Prevention of Hypertension - Trials of Hypertension Prevention, Phase I. Hypertension 1998; 32:393-401.
- 5) 橋本勉、西村薫子、宮本佳代子他; 24時間畜尿による食塩摂取量推定の妥当性に関する基礎的研究. 日本公衛誌, 1986; 33:357-363.
- 6) Simpson FO, Sodium Intake. Body sodium and Sodium excretion. THE LANCET 1998, July 2: 25-28.
- 7) 伊藤和江. 分割尿を用いたナトリウムならびにカリウム摂取量推定法の検討. 日衛誌, 1989; 36: 701-710.
- 8) 川崎晃一、上園慶子、伊藤和枝他. 尿中クレアチニン排泄量予測値と起床後2回目のスポット尿を用いた24時間尿中ナトリウムならびにカリウム排泄量の推定法. J. Health Sci 1988; 10: 115-120.
- 9) Kamata K, Tochikubo O. Estimation of 24-h urinary sodium excretion using lean body mass and Overnight urine collected by a pipe sampling method. Hypertension 2002; 20:2191-2197.
- 10) Luft FC, Fineberg NS, Sloan RN. Overnight urine Collection to Estimate Sodium Intake. Hypertension 1982; 4:494-498.
- 11) Knuiman JT, Poppel GV, Burema J, et al. Multiple Overnight Urine Collection May be

used for estimating the Excretion of Electrolytes. CLIN.CHEM 1998;34/1:135-138.

- 12) He Jiang, Klag MJ, Whelton PK, et al. Agreement between overnight and 24-hour urinary cation excretion in Southern Chinese Men. Am J Epidemiol. 1993; 137: 1212-1220
- 13) Staessen J, Broughton PM, G, Fletcher AE, et al. The assessment of the relationship between blood pressure and sodium intake using whole day, daytime and overnight urine collections. Journal of Hypertension 1991;9; 1035-1040.
- 14) 栢久保 修、金子好宏、高坂勇造. 尿中食塩濃

度の簡易測定法. 医学のあゆみ、1984;131:545-550.

- 15) 鈴木政登、飯島好子、井川幸雄. 簡易型デジタル塩分計による尿中食塩排泄量の推定. 呼と循, 1998; 36:195-200.
- 16) Tochikubo O, Ueda S, Kaneko Y. Simple Portable Device for sampling a Whole Day's Urine and Its application to hypertensive outpatients. Hypertension 1983;5:270-274.
- 17) 富田勝彦、大川浩美、小島淳二. 平面型電極を用いたコンパクトイオンメータとその応用. HORIBA Technical Reports 1990;1:24-32.