

## K-40 測定法による身体構成成分の年令的考察

永井輝夫 飯沼武 石原十三夫\*

身体総カリウム量の測定は臨床的、あるいは生理学的にきわめて重要な問題であるにかかわらず、従来の一般的方法では正しい値をえることがむずかしく、かつ多数の対象を測定することも困難であった。

最近身体内に存在するきわめて微量の放射能を測定し得るヒューマンカウンターが利用できるようになり、身体内カリウム中に含まれる天然放射性カリウム(K-40)の放射能を測定し、これより身体総カリウム量を算出することが可能となった。

一方、“lean body mass”中にはほぼ一定量のカリウムが含まれ、脂肪組織および骨組織にはきわめてその量が少ないので、身体総カリウム量と体重の関係から身体構成成分の比率をうかがうことも可能である。

われわれは約200例の正常人についてプラスチック型ヒューマンカウンターによるK-40測定を行ない、身体総カリウム量、カリウム体重比率、脂肪体重比率等の年令的推移を追究したのでここに報告する。

### 測 定 方 法

測定にはFig. 1に示されるごときプラスチック型ヒューマンカウンターを使用した。すなわち測定室は225×80×160cmの厚さ15cmの鉄室によりなり、その内面は低エネルギーバックグラウンドを減少させるため3m鉛、0.30mm銅、3mmルイサイト板でおおわれている。検出器はFig. 1に示されるごとく測定ベッドの上下に各4個、

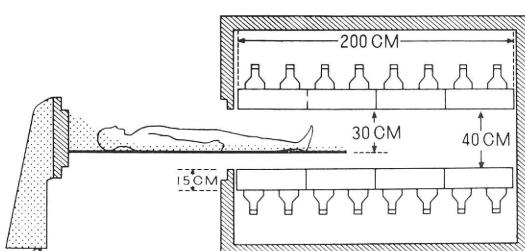


Fig. 1.

\* T. Nagai (臨床研究部), T. Iinuma, T. Ishiura (物理研究部): 放射線医学総合研究所。

合計8個の大プラスチックシンチレータユニットより成っている。各ユニットは50×50×15cmのプラスチックシンチレータブロック(松下電工)および4本の5吋螢光電子増倍管(Du Mont 6364)より成っている。

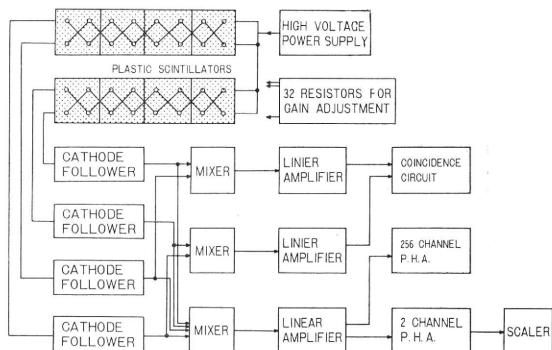


Fig. 2.

Fig. 2はそのエレクトロニクスのブロックダイアグラムである。増幅器からの出力は2チャネル波高分析装置を通じて計数されるが、必要に応じ256チャネル波高分析装置による分析も可能である。

測定器中心上の各点の測定効率はほぼ均一であった。

Fig. 3は単チャネル波高分析装置によってえられたK-40, Cs-137およびバックグラウンドのスペクトルである。Fig. 3にみられるごとくそのエネルギー分解能

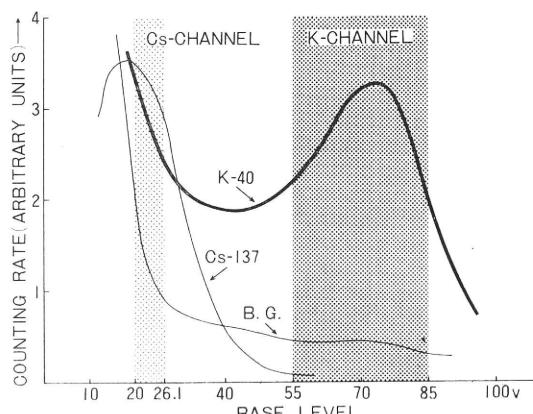


Fig. 3.

は Na I (Tl) に比し劣るが、正常人体内に含まれる K-40 および Cs-137 を分離測定するには十分であつた。陰影部は測定用に用いたエネルギー範囲を示す。バックグラウンドスペクトル上にはおそらく光電子増倍管からの影響と考えられる低いK-40 ピークが認められた。

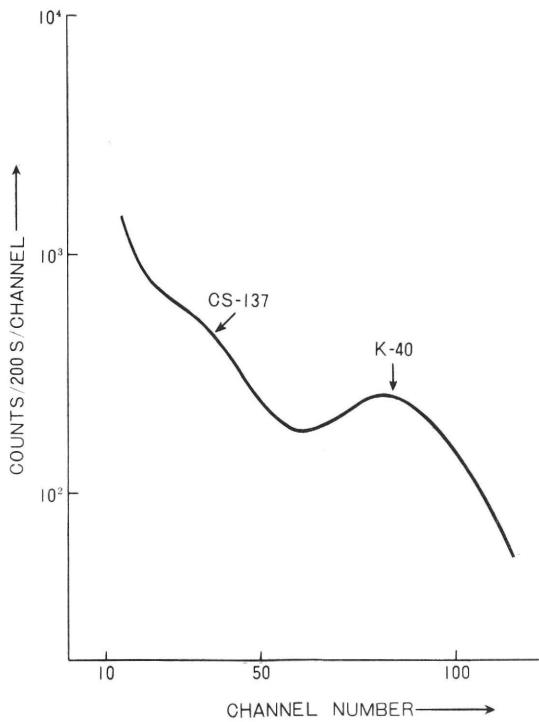


Fig. 4.

Fig. 4 は 256 チャネル波高分析装置によってえられた正常人のネットスペクトルで、K-40 による高いピークとフォールアウトに起因する Cs-137 の低いピークが認められる。

カリウム量算出のキャリブレーションにはプラスチック製人体ファントムを使用し、正確に秤量した塩化カリウムを蒸留水に溶解し、ファントムに注入した。身体の大きさによる影響を除くため大（身体 162.3cm、体重 70.90kg）、小（身体 150.0cm、体重 35.75kg）2種のファントムを使用し、体重 40kg 以上の対象のキャリブレーションには前者を、40kg 以下の対象のそれには後者を使用した。前者の K-40 の測定効率は 8.45% (16.50 c/m/g K)、後者のそれは 9.41% (18.39 c/m/g K) であった。なお塩化カリウム線状標準線源の測定効率は 11.96% であった。

正常成人測定時の K-40 チャネルのネット計数率は 2500~1500 c/m で、15 分間計数時の標準誤差は約 ±1.30 % であった。

測定対象は正常健康男子 108 例 (6~89才) および女子 81 例 (6~84才) で、シャワー浴後、薄い木綿製ガウンを着用せしめ測定した。

測定時間は 15 分で、バックグラウンドは 1 日数回 1 時間測定した。

身体総カリウム量および Cs-137 放射能量が各例で算出されたが、計算は同時に Burroughs-220 電子計算器によっても行なわれた。

なお以上のほか、10 例については 8 時径 Na I (Tl) 型ヒューマンカウンターによる身体総カリウム量測定と放射性水素水 (THO) 稀釣法による体液量測定が同時に行なわれた。

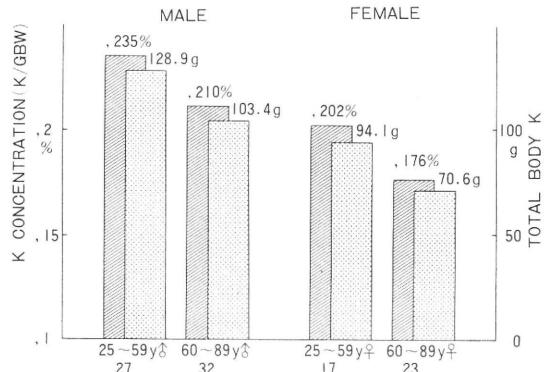


Fig. 5.

## 測 定 結 果

平均身体総カリウム量およびカリウム体重比率は Fig. 5 に示される通りである。すなわち男子は女子に比し、量、比率ともに高く、成年者は老年者に比し、量、比率ともに高い。

Fig. 6 は若年者 89 例の身体総カリウム量と体重の相関を示したもので、Fig. 6 中実線は体内に脂肪がないと仮定した場合のカリウム量の理論値を示してある（理論値の算出方法は後述する）。Fig. 6 にみられるごとく、成熟期男子はほぼ理論値に平行してカリウム量が増加するに比し、女子は一般に右寄りで、かつ体重 40kg 以上では大きく右にそれるのが注目される。すなわち成熟期にすでに女子は男子に比しカリウム含有量の少ない

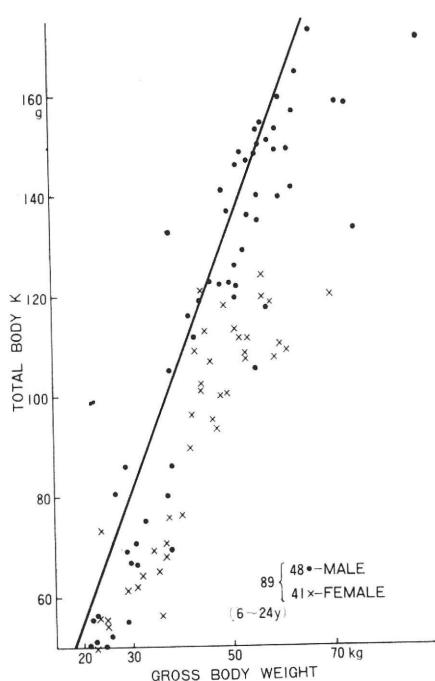


Fig. 6.

脂肪量が比較的多く、40kgを境としてそれが急激に増加することを示している。

**Fig. 7, Fig. 8** はそれぞれ身体総カリウム量およびカリウム体重比率の年令的推移を男女別に示したものであり、ともに年令および性別による著明な差異が認められる。総カリウム量は男女とも成熟に伴ない急激に増加し19~22才でピークに達し、以後壮年期、老年期を通じ漸減する。男子では70才以後、女子では45才以後その減少は著明となる。カリウム体重比率曲線では、男子では9才および17才にピークを有する2つの山が認められ、女子では第2のピークがまったく認められないのが注目される。すなわち男子では小児および思春期の急激な筋肉の発達を示す2つの山の間にカリウム含有量の少ない骨成長期があるため、一時的にカリウム体重比が低下するものと考えられる。18才以後の男子および10才以後の女子の体重の増加はカリウム含有量の少ない脂肪および骨組織が筋肉組織に比し、比較的多く附加されることに基づいている。壮年期および老年期を通じ両性ともカリウム体重比は漸減し、比較的脂肪量が多くなることが推定できる。

以上の結果は、Allen<sup>1)</sup>およびAnderson<sup>2)</sup>らの報告

とよく一致しているが、カリウム体重比率は両性とも日本人に高いことが注目できる。これは栄養的、人種的差異による身体脂肪量の差異に基づくものと考えられる。身体総カリウム量の差異は体重の相異から容易に解釈することができる。

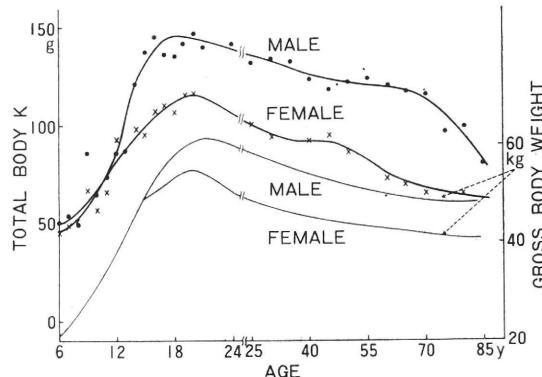


Fig. 7

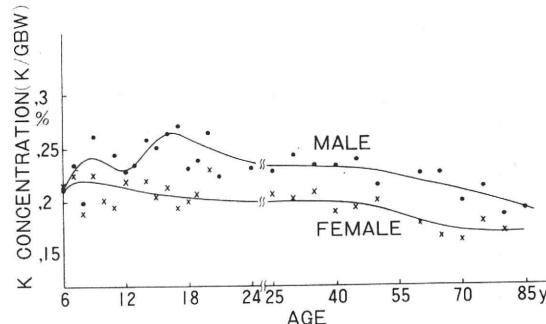


Fig. 8.

スポーツ選手、愛好者は一般にカリウム体重比率が高いかったが、これについてはさらに例数を増し検討中である。

K-40 データーからさらに身体脂肪量を求めることが可能である。すなわち Forbes<sup>3)</sup> らの報告に基づき “fat-free mass” には  $68.1 \text{ mEq/kg}$  と一定のカリウムが含まれているものと仮定し、カリウム量から fat free mass を求め、体重との差から身体脂肪量を算出した。この仮定は Fig. 9 に示す実験から再確認した。すなわち 10 例の対象について 8 時径 Na I (Tl) 型ヒューマンカウンターで身体総カリウム量を求める同時に、THO 経口投与により体液量を求め体液量より fat-free mass を算出した。その身体総カリウム量と体重および

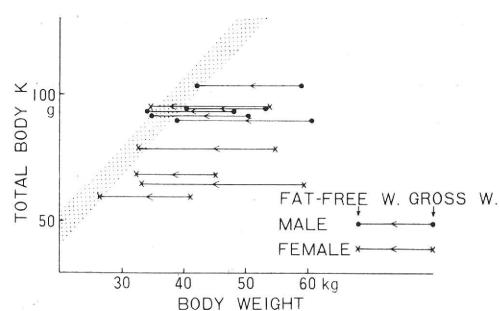


Fig. 9.

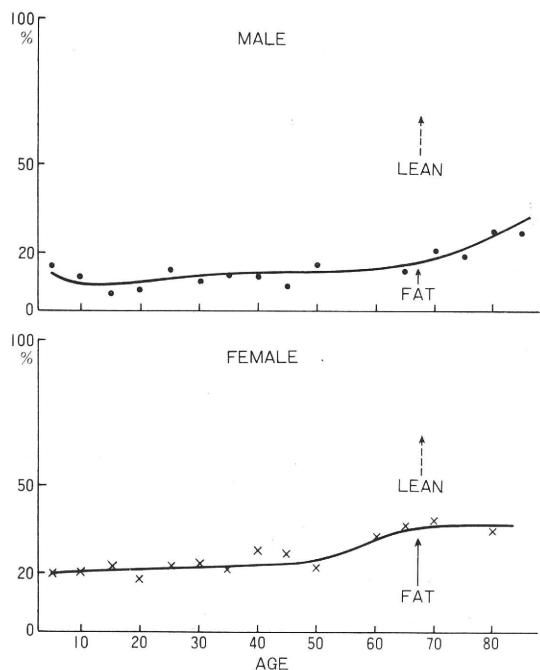


Fig. 10.

fat-free mass との相関を求めたのが Fig. 9 で、カリウム量と fat-free mass との間には相関が認められた。

Fig. 9 中、陰影部は fat-free mass 中に 68.1 mEq/kg のカリウムが含まれるときの理論値である。

以上の仮定に基づき身体総カリウム量より算出した脂肪体重比率はまた、もっとも簡単な脂肪量の指標である体重身長比率と成人では比較的よく相関性を示した。

Fig. 10 はこのようにして算出した脂肪体重比率の年令的推移を男女別に示したもので、女子では男子に比し一般にその比率が高く、また両性とも年令の増加とともに上昇するのが認められた。

### 総括及び結語

身体構成成分の分析はきわめて複雑な問題であるが、有機シンチレーター型ヒューマンカウンターの登場はこの問題の解決に1つの手段を提供するものである。

われわれは多数の対象を迅速に測定しえるプラスチック型ヒューマンカウンターを利用し身体構成成分の年令的推移を追究し、成熟あるいは老化の生理的変化について興味ある知見をえた。

ヒューマンカウンターによる K-40 の測定はいまだ研究的段階ではあるが、本法が多数対象の年令的、生理的変化の評価に実際的な方法となることは疑いないと考えられる。

なお本報告の一部は朝日生命成人病研究所研究助成金の援助のもとに行なわれた。また本報告は第11回国際医学会総会において発表された。

### 文 献

1. T. H. Allen et al. : J. of Gerontology, 15: 348. 1960.
2. E. C. Anderson et al. : Science, 130: 713, 1949.
3. G. B. Forves et al. : Science, 133: 101, 1961.

\*

\*

\*