

主成分分析による成人女性の活力年齢の推定

田中喜代次¹⁾ 松浦義行¹⁾
中塘二三生²⁾ 中村栄太郎³⁾

Assessment of vital age of Japanese women
by principal component analysis

Kiyoji Tanaka¹, Yoshiyuki Matsuura¹, Fumio Nakadomo²
and Eitaro Nakamura³

Abstract

Principal component analysis was applied, for the assessment of vital age (more frequently termed the biological age), to the data for 34 physiologic and anthropometric variables. Subjects were 106 Japanese women, aged 30 to 72 years, who were recruited in a series of tests for cardiorespiratory, physical fitness, anthropometric, body composition, and blood lipid profiles. The subjects were categorized into two groups—those (n=15) who possessed either four or more of the coronary heart disease (CHD) risk factors (① obesity, ② hypercholesterolemia, ③ hypertension, ④ low maximal aerobic power, ⑤ an abnormal electrocardiogram reflecting ischemic patterns, and ⑥ real sedentary life) including 7 CHD patients and those (n=83) who were considered apparently healthy without CHD risk factors. Analyses of the data revealed that, out of the 34 variables examined, 11 variables were suitable for the assessment of vital age, and that the individuals with many CHD risk factors were approximately 7 years older when compared to their chronological ages (54.6 ± 9.9 vs. 61.4 ± 7.2 yr). Healthy individuals were, however, found to have similar vital ages (49.1 ± 11.0 yr) to their chronological ages (49.0 ± 8.9 yr). The developed equation for the estimation of vital age (VA) was $VA = 8.90VS + 49.0 + Z$, $VS = -1.035 + 0.016X_1 + 0.011X_2 - 0.064X_3 - 0.012X_4 + 0.004X_5 + 0.004X_6 + 0.004X_7 + 0.034X_8 - 0.037X_9 - 0.005X_{10} - 0.367X_{11}$, $Z = 0.33Age - 16.17$; where X_1 =abdominal girth (cm), X_2 =SBP (mmHg), X_3 = $\dot{V}O_{2LT}$ (ml/kg/min), X_4 = HR_{LT} (b/min), X_5 =TC (mg/dl), X_6 =LDLC (mg/dl), X_7 =TG (mg/dl), X_8 =hematocrit (%), X_9 =side step, X_{10} =one-leg balance with eyes closed(s), and X_{11} =FEV_{1.0s}(l). Since independent variables of this equation included physical fitness items and those measured during submaximal exercise stress test, we defined the score obtained from the equation as "vital age." Importance and usefulness of the vital age were discussed.

(Japan J. Phys. Educ., 35: 121-131, September, 1990.)

結 言

老化の程度を測る尺度としては、現在までのところ、生物学的年齢または生理学的年齢に代表さ

れるように、暦年齢を基準として用いたものが多い。しかし、生物学的年齢を推定する上での具体的な統計モデルや妥当な説明変量に関する吟味は、未だ十分になされているとはいえない。

1) 筑波大学体育科学系

〒305 つくば市天王台1-1-1

2) 大阪府立看護短期大学

〒558 大阪市住吉区手塚山東3-1-41

3) 京都大学

〒606 京都市左京区吉田二本松

1. Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki (305)

2. Osaka Prefectural College of Nursing, 3-1-41 Tezukayama
Higashi, Sumiyoshi, Osaka (558)

3. Department of Health and Exercise Science, University of Kyoto,
Yoshida Nihonmatsu, Sakyou, Kyoto (606)

Nakamura et al.²²⁾は、生物的年齢を評価する上で、従来から多用されてきている重回帰モデルに代わって、主成分モデル（いわゆる主成分分析によって抽出される第1主成分を暦年齢と比較できる尺度に変換する手法）を用いることを提案している。この方法は、重回帰モデルの欠点（いわゆる回帰の両端付近に該当する年齢で推定される生物的年齢が、実際の暦年齢に比べて若干過大に、また過小に評価されるという欠点）を除去し、さらに暦年齢そのものを予測するという理論的矛盾を回避する点において、より優れた統計モデルの1つと考えられる。その一方、老化度を推定する際に、この方法があらゆる類のデータに適用できるかどうかについて、更なる検討を要することも明らかである。

生物的または生理的年齢を推定するための説明変量としては、一般に老化現象を比較的著明に反映する安静時の生理的検査結果が利用される^{10),11),17),21),24)}。この背景には、老化度の早い臓器が生命（寿命）に対してより大きな影響を及ぼす、という前提が立てられているからである。しかし、安静時においては顕著な差異を示さないものの、ある種のストレス下においては若年者に比べて大きな偏りを示す生理的検査結果（たとえば、運動時の酸素摂取量、心拍数、血圧値、血糖値など）を説明変数として考慮することも必要と考えられる。老化度の進行に伴って体力や運動能力が著しく制限されるにもかかわらず、今日まで運動ストレス下での生理的検査値や行動体力の測定値を説明変量に利用した研究は数少ない。

本研究の目的は、中高年女性を対象として、老化の指標としての生物的年齢（または、老化度）を推定する上での主成分モデルの妥当性の再検討および運動ストレス下での生理機能の検査値を含めた老化度を評価するための指標（本研究では、これを活力年齢と定義する）を作成する点にある。

方 法

1. 研究対象

被検者は、規則正しい運動習慣を有しない近畿地区（大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、滋賀県、京都府のいずれか）に在住する本邦成人女性106名（30—72歳、49.3±8.7歳）である。これらの被検者を、健康な成人女性群（以下、健康群：86名、30—72歳）と冠動脈硬化性心疾患（CHD）患者またはCHDの危険因子を4つ以上有する成人女性群（以下、高Risk群：20名、43—67歳）とに分類した。なお、高Risk群の中の7名は、冠動脈造影所見や運動負荷時心電図所見などから軽度のCHDと判定された。被検者の分類基準は、次項のごとくである。

2. 研究対象の分類基準

本研究では、CHDの危険因子として、①肥満症、②高コレステロール血症、③高血圧症、④心電図異常、⑤低有酸素性能力、⑥運動過不足を採り挙げた。CHDの危険因子を有するという判定は、①水中体重秤量法によって求めた体脂肪率 $\geq 30\%$ または桂指数（KI） ≥ 130 、 $KI = \{Wt / ((HT - 100) \cdot 0.9)\} \cdot 100$ 、②総コレステロール値 $\geq 250\text{mg/dl}$ 、③収縮期血圧 $\geq 160\text{mmHg}$ 、④虚血性ST、T異常（心電図）、⑤最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_2\text{max}$ ） $< 29\text{ml/kg/min}$ 、⑥real sedentary life（この10年間運動をしたことがない）に基づいて行った。なお、 $\dot{V}O_2\text{max} < 29\text{ml/kg/min}$ なる判定基準の採択は、CHD危険因子の判定尺度としての $\dot{V}O_2\text{max}$ の有効性について包括的な検討を加えた先行研究^{18),19)}に従った。

3. 問診およびアンケート調査

急性心不全による心臓事故の発生を未然に防止するために、とくに循環器系疾患の症状に関する具体的な問診（既往歴、家族歴、自覚症状など）、そのほか呼吸器系疾患や整形外科的疾患の有無に関する問診などを行った。さらに、健康状況、食習慣、運動経歴と運動種目、身体活動参加への意識、喫煙習慣の有無とその量、職業の有無、出産の頻度などに関する調査を質問紙法により実施した。この段階で要注意と診断された者は10数名みられたが、被検者全員に以下の諸検査を試みた。

4. 安静時心電図、血圧、呼吸機能などの検査

全被検者に対して運動負荷試験実施前に、メディカルチェックを兼ねた標準12誘導心電図、収縮期血圧 (SBP)、拡張期血圧 (DBP)、呼吸機能の検査および一部の被検者に対して尿検査、循環器専門医による診察などを行った。心電図有所見者、高血圧者については、同専門医の連続監視のもとで運動継続の中断基準となる禁忌事項に十分な配慮を保ちながら、運動負荷試験を実施した。尿は採尿後、直ちに糖、蛋白、ウロビリノーゲン、潜血沈査などについて検査し、検査しえた全員が陰性 (-) または、疑陽性 (+) であることを確かめた。

5. 形態・身体組成の測定

人体計測項目として、身長、体重、胸囲、腹囲 (臍レベル)、腰囲 (ウエスト)、臀囲 (ヒップ) を選択し、熟練検者が一貫した計測を行った。皮下脂肪厚の計測部位は、上腕背部、肩甲骨下部、腹部 (臍右横 2, 3cm) とし、栄研式皮脂厚計により計測した。なお、33名の被検者については水中体重秤量法による身体密度²⁸⁾、体脂肪率⁵⁾の測定を併せて実施した。

6. 運動負荷試験

運動負荷試験は、Monark 製の自転車エルゴメータを使用して実施した。自転車駆動開始時の負荷強度は 0 ワット (W) とし、同強度で 2-4 分間の Warming-up 駆動を行わせた。その後は、被検者が疲労困憊に至るまで毎分 15W ずつ連続して負荷強度を漸増した^{26), 27)}。エルゴメータのペダル回転数は、一定して 60rpm とした。

運動負荷試験中は絶えず心電図、血圧、呼吸などの変化を監視し、とくに異常のないことを確かめた。各負荷に対する呼吸循環系諸量の反応は Mijnhardt 製の Oxycon System により測定した²⁶⁾。また、嫌気性代謝閾値または乳酸性閾値 (lactate threshold: LT) の決定のために、運動負荷中 1 分ごとに約 1ml ずつ主として正中肘静脈より血液を採取した。LT は酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を X 軸に、血中乳酸濃度 (La) を y 軸にとり、Beaver ら⁴⁾の log-log transformation 法 (両対数変換) により決定した。

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は、負荷強度漸増中における $\dot{V}O_2$ のレベルオフにより判定したが、6名の被検者については peak $\dot{V}O_2$ を $\dot{V}O_{2max}$ とみなした。

なお、本研究の運動負荷試験に参加した被検者は合計 106 名であったが、8 名は著明な ST 変化などの心電図異常、DBP の急激な低下、呼吸困難、胸痛、あるいは筋骨格系の痛みを示したため、運動を最大下で中断させた。

7. 血液の分析

血清脂質の定量のための採血は、13-15 時間絶食絶飲状態の午前 8 から 10 時に行った。総コレステロール (TC) とトリグリセライド (TG) は酵素法²⁹⁾にて、高比重リポ蛋白コレステロール (HDL-C) は沈殿法²³⁾にて分析した。低比重リポ蛋白コレステロール (LDL-C) は、Friedewald et al. の式⁸⁾より推定して求めた。

赤血球数 (RBC)、ヘモグロビン量 (Hb)、ヘマトクリット値 (Hct) などは Coulter counter S-Plus II により分析した。La は Omron-Toyobo 製の lactate analyzer を利用して酵素電極法²⁰⁾により分析した。

8. フィールドパフォーマンスとしての体力測定

静的筋力として握力²⁵⁾、柔軟性として立位体前屈と伏臥上体反らし、敏捷性として反復横とび、パワーとして垂直とび、平衡性として閉眼片足立ち^{13), 25)}を選択し、これらの測定は一般的な方法にしたがった。

9. 資料の解析

前述のごとく、106 名中の 8 名については運動負荷試験のデータが得られなかったため、健康群を 83 名、高 Risk 群を 15 名に再編成し、以下の手続きを施した。まず、健康とみなされる群のデータについて前述の 34 項目間の測定値 (変量) と暦年齢の相互間の相関行列を求め、この相関行列に主成分分析を適用することによって、Hofecker et al.¹⁴⁾ や Nakamura et al.²²⁾ と同様、老化の基本過程を表わすと考えられる primary aging factor の抽出を試みた。そして、この primary aging factor に対して高い因子

負荷量を有し、かつ各種の生理機能を代表すると思われるより小数の変量を老化度推定のための説明変量として選び出した。次に、それら変量相互間の相関行列を求め、再び主成分分析の適用により回転前の第1主成分を抽出し、各個人の第1主成分のスコアを、暦年齢と比較できる尺度に変換する方法を工夫した。本研究では、この一連の統計分析の手続きを経て算出される年齢を活力年齢と定義する。

結 果

表1は、各項目の平均値と標準偏差を示したものである。表2は、表1に掲げた項目すべての相互間の相関行列である。暦年齢と比較的高い相関 ($r > 0.4$) を示した変量は、SBP, $\dot{V}O_2$ max, % $\dot{V}O_2$ maxLT, LT出現時の心拍数(HRLT), 最高心拍数(HRmax), %HRmaxLT, TC, LDLC, 努力性肺活量(FVC), 1秒量(FEV_{1.0s}), 反復横とび, 垂直とび, 閉眼片足立ちである。したがって、これらの変量はある一定の加齢変化を反映するといえる。表3には、33項目の生理的・形態的変量と暦年齢から求めた相関行列(34×34)に主成分分析を適用した結果を掲げた。ここでの主成分分析適用の目的は、身体の生理的諸機能や形態的特徴について、老化の過程を支配するある一定のパターンもしくは法則性なるものが存在するかどうかを検討することである。主成分分析の結果、固有値1.0以上の主成分として、10個が抽出された。第1主成分は、抽出された主成分の中で7.955と最も大きな固有値(全分散の23.4%)を示した。また、この主成分に対し、暦年齢は0.73の高い因子負荷量を、その他の19変量も有意で比較的高い因子負荷量(0.43—0.79)を示した。第2—10の主成分は、暦年齢との間にほとんど相関が認められず、かつ2, 3の器官・組織の機能を代表する変量とのみ高い因子負荷量を示した。そこで、Hofecker et al.¹⁴⁾やNakamura et al.²²⁾と同様、本研究でも第1主成分を老化の基本過程を表すprimary aging factor, そして第2—10の主成分を各種の器官・組織の機能の老化

Table 1. Descriptive statistics for selected anthropometric, physiological, and physical fitness variables in 83 middle-aged and elderly women.

Variable	Mean	S.D.
Age, yr	49.0	8.9
Height, cm	154.0	5.1
Weight, kg	56.1	8.2
Abdominal Girth, cm	86.7	8.1
%BF, %	25.5	5.8
LBM, kg	41.5	4.2
Fat, kg	14.6	5.5
HR, b/min	63.3	8.6
SBP, mmHg	123.4	14.7
DBP, mmHg	76.4	9.7
RPP	7,867	1,352
$\dot{V}O_2$ LT, ml/kg/min	16.9	2.6
$\dot{V}O_2$ max, ml/kg/min	29.0	4.9
% $\dot{V}O_2$ maxLT, %	58.6	6.2
HRLT, b/min	120.4	11.5
HRmax, b/min	171.1	11.5
%HRmaxLT, %	70.2	5.1
TC, mg/dl	217.6	42.3
HDLC, mg/dl	60.4	13.5
LDLC, mg/dl	139.0	39.5
TG, mg/dl	90.2	41.9
AI	2.45	0.96
RBC, $\times 10^6$ /ul	4.343	0.312
Hb, g/dl	13.33	0.94
Hct, %	39.9	3.0
FVC, l	2.61	0.42
FEV _{1.0s} , l	2.20	0.42
FEV _{1.0s} , %	84.3	7.0
Grip Strength, kg	29.8	3.8
Side Step	37.4	4.4
Vertical Jump, cm	31.0	6.6
Trunk Extension, cm	40.2	9.0
Trunk Flexion, cm	11.8	7.2
One-Foot Balance with Eyes Closed, s	26.2	27.3

を反映する secondary aging factor と解釈した(表3)。

活力年齢推定のための説明変量として、本研究で検査・測定したすべての項目を用いることは必ずしも妥当かつ実用であるとはいえない。なぜならば、類似度の高い器官・組織の機能を代表する検査値相互間には多重共線性

1 TM210 900821

Table 2. Correlation matrix among 34 selected variables.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1 Age	-27	-12	29	-06	-11	-10	-22	46	26	03	-29	-54	43	-43	-67	43	44	-09	42	38	34	03	27	21	-52	-60	-39	-36	-46	-44	-36	-10	-46
2 Height	50	10	11	58	29	05	-30	-15	-07	04	10	-10	-08	10	-19	-18	-25	-08	-14	09	-05	-16	-16	50	54	32	34	09	16	18	-03	11	
3 Weight	68	68	79	89	17	17	25	30	-29	-29	05	-04	02	-07	-03	-23	04	03	14	21	08	16	14	16	14	44	-26	-05	15	-11	-12		
4 Abdominal Girth	55	52	62	07	36	32	23	-31	-43	21	-21	20	-08	20	-22	23	33	26	20	18	21	-04	-10	-12	21	-20	-10	03	-03	-22			
5 % BF	11	92	18	22	27	24	-30	-24	-07	-05	03	-08	02	-17	08	01	12	09	02	08	-09	-08	01	24	-33	-02	09	-06	-18				
6 LBM	42	06	02	09	16	-14	-18	10	-06	00	-08	-04	-20	01	04	12	21	08	14	29	29	17	42	-04	00	15	-11	-01					
7 Fat	21	24	29	32	-33	-29	-00	-02	03	-05	-02	-19	05	02	11	15	05	13	-02	01	09	34	-35	-07	10	-08	-17						
8 HR	-26	-06	63	-08	-02	-10	37	18	36	11	01	13	-08	01	-05	-03	-05	-03	02	07	-04	00	18	09	-03	14							
9 SBP	71	51	-27	-41	28	-16	-27	06	30	11	23	30	11	30	44	45	-42	-44	-17	02	-32	-22	-19	-09	-36								
10 DBP	47	-29	-29	04	-20	-18	-05	17	-11	16	30	21	36	45	45	-43	-41	-09	07	-37	-31	-25	-14	-26									
11 RPP	-32	-32	06	13	-03	24	24	11	20	07	04	14	23	25	-27	-20	06	02	-19	01	-06	-06	-15										
12 $\dot{V}O_2$ LT	79	17	43	38	22	-27	16	-29	-23	-27	-20	-17	-15	24	21	-00	16	50	35	28	38	49											
13 $\dot{V}O_2$ max	-45	30	48	-05	-44	14	-46	-33	-38	-22	-24	-26	41	38	09	23	53	46	32	36	53												
14 % $\dot{V}O_2$ maxLT	16	-21	40	32	05	29	17	19	06	15	21	-31	-32	-15	-12	-10	-20	-08	02	-13													
15 HRLT	68	66	-24	28	-28	-36	-36	-05	-11	-06	16	19	11	19	33	36	34	04	36														
16 HRmax	-07	-41	23	-44	-37	-45	04	-07	-02	38	43	28	37	45	37	43	12	41															
17 %HRmaxLT	08	17	06	-12	-05	-08	-06	-04	-16	-18	-14	-06	03	15	-01	-05	10																
18 TC	11	94	44	60	11	23	18	-40	-39	-15	-21	-17	-06	-14	-16	-10																	
19 HDLC	-17	-25	-69	11	12	14	-05	-08	-10	-07	19	16	08	-04	21																		
20 LDLC	35	80	04	14	09	-38	-36	-10	-20	-20	-09	-14	-18	-14																			
21 TG	38	20	33	27	-18	-21	-14	-03	-21	-12	-14	07	-17																				
22 AI	-04	00	-04	-26	-22	-00	-08	-22	-14	-14	-09	-21																					
23 RBC	80	85	-04	01	08	20	-14	-21	-23	-32	-04																						
24 Hb	95	-12	-16	-16	02	-14	-08	-16	-10	-17																							
25 Hct	-13	-15	-10	08	-17	-11	-19	-15	-15																								
26 FVC	91	18	40	46	44	34	30	24																									
27 FEV _{1.0s} (l)	56	41	44	37	33	19	33																										
28 FEV _{1.0s} (%)	18	11	-01	13	-13	27																											
29 Grip Strength	29	26	33	14	25																												
30 Side Step	60	40	32	50																													
31 Vertical Jump	48	36	29																														
32 Trunk Extension	30	25																															
33 Trunk Flexion	08																																
34 One-Foot Balance with Eyes Closed																																	

Correlations are rounded to 2 places and decimals omitted.

Correlations of 0.196 is necessary to reach statistical significance at the 0.01 level.

Table 3. Factor loadings by principal component analysis.

Variable	Factor	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	h ²
Age		-732	-346	-096	-026	104	218	-226	-104	020	051	789
Height		260	578	-383	-074	134	-182	-237	-069	064	123	685
Weight		-226	913	-075	125	-083	090	-163	-008	-079	-004	954
Abdominal Girth		-470	590	-055	118	126	313	-093	-088	-111	-033	730
%BF		-278	634	-032	222	-313	262	228	125	-249	-280	903
LBM		-069	726	-116	-034	190	-074	-386	-123	061	199	796
Fat		-284	807	-024	212	-270	189	052	083	-165	-158	948
HR		054	215	190	618	-108	-365	256	-239	284	-191	852
SBP		-644	082	400	-027	005	282	084	114	046	422	862
DBP		-598	208	321	-123	-077	140	244	338	233	241	830
RPP		-356	291	399	426	-133	-180	302	-168	309	345	937
VO ₂ LT		625	-226	203	099	269	282	-216	347	069	-057	819
VO ₂ max		794	-120	093	-099	076	179	213	243	059	-073	814
%VO ₂ maxLT		-354	-136	175	304	279	149	-657	085	-002	068	810
HRLT		497	047	531	493	-073	-084	-235	111	094	-133	881
HRmax		661	256	386	035	-074	-054	115	177	-099	-053	719
%HRmaxLT		019	-168	367	641	-018	-057	-398	-013	237	-126	808
TC		-586	-170	-027	338	517	-224	171	-043	-336	064	953
HDLC		188	-248	590	039	-124	-017	-035	-312	-520	288	914
LDLC		-593	-098	-217	377	499	-258	156	061	-218	-019	942
TG		-500	-003	-069	-117	454	127	166	-004	166	-051	549
AI		-514	047	-506	232	451	-148	117	282	135	-143	934
RBC		-328	299	557	-481	184	-295	-063	058	-041	-226	919
Hb		-438	128	615	-408	323	-071	059	-117	079	-119	925
Hct		-433	199	658	-400	258	-083	-020	-051	047	-197	939
FVC		656	381	-145	-246	245	009	-058	-345	100	-053	853
FEV _{1.0s}		276	321	-108	-081	-031	-536	023	320	050	337	705
Grip Strength		288	612	132	-075	225	181	-020	229	-028	097	627
Side Step		678	-056	134	053	441	051	083	-037	-070	129	710
Vertical Jump		546	121	136	275	381	164	276	-260	-032	-044	725
Trunk Extension		475	274	030	255	227	252	108	-046	-196	098	543
Trunk Flexion		327	-049	-042	076	283	594	207	-134	300	067	705
One-Foot Balance with Eyes Closed		567	006	165	124	246	-210	037	341	-202	014	628
Eigen Value		7.955	4.738	3.203	2.652	2.292	1.826	1.569	1.210	1.118	1.008	27.571
Percentage of Variance		23.4	13.9	9.4	7.8	6.7	5.4	4.6	3.6	3.3	3.0	81.1

(multicollinearity；変量間に相互相関が認められること)の存在する場合が多く、そのため有効な情報量の損失を招くことになりかねないからである。そこで、先に抽出した主成分分析の結果から、第1主成分、いわゆる primary aging factor と比較的高い因子負荷量を有し、かつ第2—10の主成分、いわゆる secondary aging factor を代表する変量を活力年齢推定のため

の説明変量として、腹囲(X_1)、SBP(X_2)、VO₂LT(X_3)、HRLT(X_4)、TC(X_5)、LDLC(X_6)、TG(X_7)、Hct(X_8)、反復横とび(X_9)、閉眼片足立ち(X_{10})、FEV_{1.0s}(X_{11})の11変量を選び出した。これら11変量で計算された相関行列(11×11)に、再度主成分分析を適用し、第1主成分を抽出した(表4)。その結果、第1主成分のスコア(VS)の推定式として、

Table 4. Results of principal component analysis applied to the 11 predictors.

Variable	Factor	Factor Loadings				h ²
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	
Abdominal Girth		0.497	-0.071	0.294	0.489	0.578
SBP		0.636	-0.127	0.512	-0.203	0.724
VO ₂ LT		-0.647	0.327	0.282	-0.198	0.644
HRLT		-0.556	0.155	0.399	-0.365	0.626
TC		0.678	0.688	-0.107	-0.087	0.952
LDLC		0.663	0.645	-0.231	-0.070	0.913
TG		0.591	0.221	0.155	0.391	0.575
Hct		0.401	-0.071	0.709	0.016	0.669
FEV _{1.0s}		-0.599	-0.011	0.008	0.621	0.744
Side Step		-0.629	0.438	0.183	0.232	0.676
One-Foot Balance with Eyes Closed		-0.582	0.538	0.168	0.102	0.666
Eigen Value		3.881	1.577	1.240	1.068	7.766
Percentage of Variance		35.3	14.3	11.3	9.7	70.6

$$\begin{aligned}
 VS = & -1.035 + 0.016X_1 + 0.011X_2 \\
 & -0.064X_3 - 0.012X_4 + 0.004X_5 \\
 & + 0.004X_6 + 0.004X_7 + 0.034X_8 \\
 & -0.037X_9 - 0.005X_{10} - 0.367X_{11} \quad (1)
 \end{aligned}$$

を得た。しかし、主成分分析によって抽出される各主成分はスコア ($\bar{X}=0$, S.D.=1.0の分布) で表されるので、暦年齢を尺度として評価することが不可能なため、健康群 (n=83) の VS のスコア分布を暦年齢分布 ($\bar{X}=49.0$ 歳, S.D.=8.9歳) に変換し、次式でもってヒトの老化度を評価することにした。なお、前述のごとく、本研究ではこの老化度なる指標を活力年齢 (Vital Age, VA) と定義した。

$$VA = 8.9VS + 49.0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

図1は推定式(1)(2)を用いて健康な中高年女性83名の VA を求め、横軸に暦年齢 (CA) を、縦軸に VA をとってグラフ上にプロットした結果である。ほとんどのプロットは VA=CA の直線付近に位置し、重回帰モデル適用の場合に比べてより安定した散布が認められた。しかし、回帰直線の両端付近で個人の VA と暦年齢とがまだ若干の偏りをもつことも明らかとなった。これは、Dubina et al.⁷⁾が指摘する線形モデルに固有のエラーと考えられた。活力年齢として推定される老化度なるものと暦年齢との差で

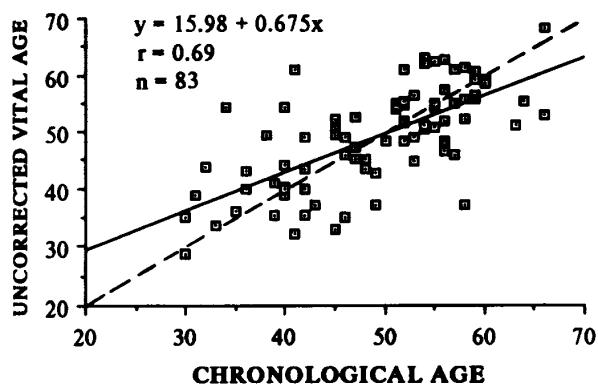


Fig. 1. Scatter diagram between chronological ages (CA) for X-axis and vital ages for Y-axis in 83 middle-aged and elderly women. The straight line indicates linear relationship between CA and VA, which is analytically expressed by VA=15.98+0.675CA.

もって評価しようとする試みに対しては、この systematic error の介入は必ずしも好ましいものではない。そこで、Dubina et al.⁷⁾が提案する方法を利用して、暦年齢 (CA) に対する次の修正項

$$Z = 0.33Age - 16.17 \quad \dots\dots\dots(3)$$

を計算し、先に求めた VA ((2)式) にこの修正項 Z を加えた。本研究では、修正項 Z を加えた VA を以下 VAc とする。

$$VAc = 8.9VS + 49.0 + Z \quad \dots\dots\dots(4)$$

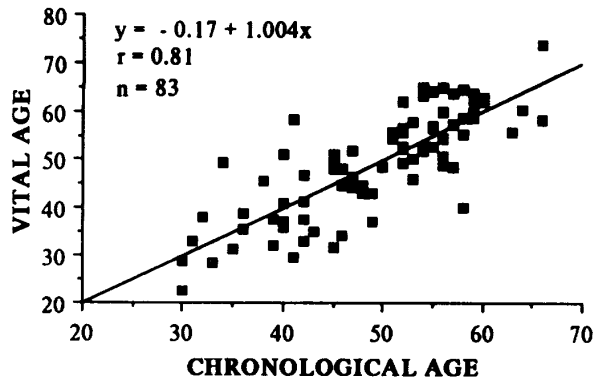


Fig. 2. Scatter diagram between chronological ages (CA) for X-axis and corrected vital ages (VAc) for Y-axis in 83 middle-aged and elderly women. The straight line indicates linear relationship between CA and VAc, which is analytically expressed by $VAc = -0.17 + 1.004CA$.

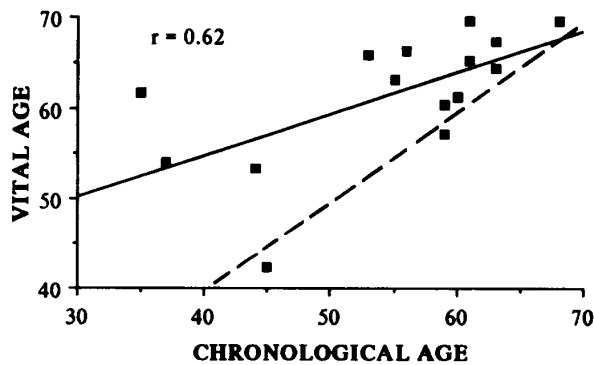


Fig. 3. Scatter diagram between chronological age (CA) for X-axis and corrected vital ages (VAc) for Y-axis in 15 women with a higher CHD risk.

図2は以上の手続きを経て、最終的に求めたVAcと暦年齢との関係を示したものである。この結果、個人個人についてみると、求めたVAcは暦年齢となお偏りをもつが、VAcの平均は暦年齢にほぼ近い値となった。

図3は本研究において、前述の式(1)、(2)、(3)、(4)を利用して、つまり健康群または低Risk群($n=83$)のデータに基づいて算出した推定式より得た15名の高Risk群のVAcと同群の暦年齢との関係を示したものである。高Risk群15名のVAcの平均は61.4歳で、同群の暦年齢の平均54.6歳と比べて約7歳大きかった。こ

れらの結果は、本研究において用いた統計的手法による活力年齢の評価の適切さを間接的に示すものと考えられる。

考 察

1. 老化度の測定モデルとしての主成分モデルの妥当性

年齢および安静時の形態・生理機能、運動ストレス下での生理機能、行動体力を代表する34個の検査項目に主成分分析を適用したところ、Nakamura et al.²²⁾が既に報告した男性の場合と同様、本研究で対象とした女性についてもprimary aging factorに匹敵する主成分(いわゆる暦年齢と最も高い相関を示し、かつヒトの生存に深い関わりをもつ変量やヒトの活動の基礎となる変量とも高い相関を示す成分)を抽出することができた。そのうえ、この主成分は加齢に伴って増加変化を示す変量にはプラス(+)の符号が、逆に加齢に伴い減少変化を示す変量にはマイナス(-)の符号が与えられている係数(ウェイト)を乗じた一次式で示されていることから、これらの変量の一次結合により老化度なる指数を考案することは妥当であると考えられる。

また、上述の主成分から統計学的かつ体力医学的観点からヒトの老化度の測度として適当との理由で選び出された11変量からなる活力指数、いわゆる11変量に基づく主成分分析の結果から得た回転前の第1主成分を、年齢と比較できるようにスコアの分布(平均0,標準偏差1.0)をTスコア概念を用いて年齢分布に置き換えたものは、暦年齢と0.81なる高い相関を示し、かつその年齢階級別平均スコアはほぼ直線的な変化を示す。以上の結果から、本研究で適用した主成分モデルは、男性のみならず女性についても老化度の評価モデルとして有用であるといえよう。

2. 活力年齢の推定

本研究で求め得た活力年齢は、説明変量群がヒトの行動力の源となる有酸素性能力、脂質代謝などを表す属性から構成されており、その上、

加齢に伴って明らかな低下がみられる反復横とびと閉眼片足立ちのテスト項目を含むので、ただ単に静的な状態でのからだの老化度の評価にとどまらず、ヒトの活力の程度を含めたより総合的な評価にも役立つといえよう。活力年齢の推定式を構成する説明変量として、primary aging factor と高い因子負荷量を有した $\dot{V}O_2$ max や HRmax を採用しなかったのは、同推定式の実用性を優先的に考慮したことによるものである。今日においては、運動負荷試験の実施は多くの研究機関・医療機関などで可能であり、 $\dot{V}O_2$ LT または $\dot{V}O_2$ AT の測定もそれほど困難ではない。したがって、本研究では、ヒトを疲労の極限にまで追い込むことによって測定される $\dot{V}O_2$ max や HRmax よりも、これらと高い相関関係を有しかつ primary aging factor と高い因子負荷量を有する $\dot{V}O_2$ LT や HRLT を推定式の説明変量の1つに採択した。また、FVC, Hb, 体脂肪量, 垂直とびなどを推定式の説明変量群の中に含めなかったのは、それぞれが FEV_{1.0s}($r=0.95$), Hct($r=0.95$), 腹囲($r=0.62$), 反復横とび($r=0.60$)と有意な相関関係を示したためである。21世紀における高齢化社会においては、ただ単に長寿に結びつける(長生きする)だけでなく、自己の欲求が比較的自由に満たされる身体活動(行動)範囲の広さが益々問われよう。このような社会的背景を勘案すれば、本研究で求め得た活力年齢は、現今および将来における中高年者の老化度の評価に大いに利用でき得ると考えられる。

3. 活力年齢推定式の妥当性

本研究の第1の目的は、中高年者の老化度の評価に有用となる活力年齢なる推定式の作成にあるが、作成された推定式の妥当性に関する検討もとくに重要な事項である。そこで、本対象98名の中から、①肥満度(KI \geq 130または水中体重より求めた体脂肪率 \geq 30%)、②TC \geq 250 mg/dl、③SBP \geq 160mmHg、④心電図異常(ST低下, ST上昇, T平低, T逆転, 不整脈など)、⑤ $\dot{V}O_2$ max $<$ 29.0ml/kg/min、⑥real sedentary(この10年間運動をしたことがない)の6つ

Table 5. Comparison of chronological age and vital age between and within high-risk group and low-risk group.

	Group	
	Low-Risk (n=83)	High-Risk (n=15)
Chronological Age	49.0 \pm 8.9	54.6 \pm 9.9*
Vital Age	49.1 \pm 11.0	61.4 \pm 7.2*#

Differences between means were tested for significance by the paired or unpaired t-test.

*Significantly different from the Low-Risk Group ($p<0.05$).

Significantly different from the chronological age within the same group ($p<0.05$).

の冠動脈硬化性心疾患危険因子のうち、4つ以上の因子を有する者および実際に冠動脈疾患と診断された者15名を高 Risk 群として、この高 Risk 群の暦年齢と推定式より求めた活力年齢の有意差検定を行った。

その結果、表5に示すごとく、高 Risk 群は54.6 \pm 9.9歳なる暦年齢に対し、活力年齢が61.4 \pm 7.2歳と有意に高いことが明らかとなった。本研究以外の対象についてみた場合、上記の①—⑥に該当する者のすべてが冠動脈疾患に罹患している(または罹患する高い危険性を有している)とは必ずしもいえないが、少なくともそのような多くの者では、①—⑥に該当しない者に比べて、冠動脈硬化などの異常を誘発させる確率が高いと予想できる。ヒトにおける疾病の最大死因の1つである冠動脈疾患の要因分析を行った Framingham Study では、肥瘦度の増高を重要な第1要因とし、血圧値とTC値の双方または一方が異常高値であれば、肥瘦度に関係なく冠動脈疾患による死亡率や突然死の割合が急激に高くなることを明らかにしている¹⁵⁾。現在、われわれは関東地区の冠動脈疾患患者41名について、本研究で作成した推定式の妥当性の検証(cross-validation)を行っている段階であるが、多人数についても暦年齢(57.8 \pm 10.2歳)と活力年齢(64.9 \pm 11.3歳)との間に有意差の認められる可能性の高いことを観察し

ている（未発表資料）。

冠動脈疾患に関する疫学的調査では、従来より高脂血症、高血圧、肥満などの関与が指摘されているが^{1),12),15),16)}、近年に至っては、運動習慣の形成が冠動脈疾患危険因子の状態を好転しうることを示唆する種々の成果が報告されている^{3),6),18),19),29)}。Ballantyne et al.³⁾は心筋梗塞患者に6カ月間の運動を指導し、その成果としてTGとLDLCの有意な低下、アポ蛋白A-1やHDL₂Cの有意な増加が認められたとしている。Cooper et al.⁶⁾や村上ら^{18),19)}は、有酸素性能力の低い者ほど冠動脈疾患危険因子を多く有することを、田中ら²⁹⁾は運動療法と食事療法の併用により、種々の冠動脈疾患危険因子が好転し、有酸素性能力も有意に向上することを報告している。これらのことから、ヒトの健康度の指標として活力年齢なるものを推定する場合、運動時における身体の生理機能の応答を推定のための説明変量に組み入れることが妥当といえよう。

本研究で求めた高 Risk 群の活力年齢は、彼らの暦年齢に比べてかなりの程度の早期老化現象を反映することから（図3）、われわれの作成した活力年齢推定式は、中高年女性の健康度を評価する上で意義深い情報を提供するものと考えられる。今後は、実際に冠動脈疾患などを有するより多くのヒトの現在または過去のデータを収集することによって、より直接的に活力年齢の妥当性を検討したり、さらに健康度（老化度）の評価に有用となる変量を用いた推定式の作成が重要課題といえよう。

結 語

今日まで、老化の程度を測る尺度として生物学的年齢（または生理学的年齢）が仮定され、その推定式が考案されてきた。しかし、生物学的年齢を推定するために用いられてきた説明変量は著明な老化現象を反映するものの、安静水準における生理学的検査から得られたものに限られている。本研究は、ヒトの老化過程で生命を短縮させる作用をもち、種々の疾病の要因でもありう

る血圧、血中脂質、体脂肪などの情報を加え、ヒトの老化過程を如実に反映する運動時における生理学的応答や体力構成要素を説明変量に利用して、老化度を評価するための指標を考案した。本研究では、その指標を活力年齢と定義し、 $VAc = 8.9VS + 49.0 + Z$ なる推定式を作成した。なお、 $VS = -1.035 + 0.016X_1 + 0.011X_2 - 0.064X_3 - 0.012X_4 + 0.004X_5 + 0.004X_6 + 0.004X_7 + 0.034X_8 - 0.037X_9 - 0.005X_{10} - 0.367X_{11}$ ($X_1 = \text{腹囲}$, $X_2 = \text{SBP}$, $X_3 = \text{VO}_2\text{LT}$, $X_4 = \text{HRLT}$, $X_5 = \text{TC}$, $X_6 = \text{LDLC}$, $X_7 = \text{TG}$, $X_8 = \text{Hct}$, $X_9 = \text{反復横とび}$, $X_{10} = \text{閉眼片足立ち}$, $X_{11} = \text{FEV}_{1.0s}$), $Z = 0.33\text{Age} - 16.17$ である。上の式より求めたVAcは、健康群については暦年齢とほぼ完全に一致したが、冠動脈疾患の危険度の高い群では暦年齢 54.6 ± 9.9 歳に対し、VAcが 61.4 ± 7.2 歳となり、両者間に有意差が認められた。したがって、本研究で作成した活力年齢推定式は、中高年女性の健康度をより総合的に評価する上での意義深い情報源に値するといえよう。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、Medical Check および種々の医学的検査にご協力頂いた前田如矢先生（大阪市立大学）、山田 尚先生（大阪市立大学）、吉村隆喜先生（堺市馬場記念病院）に心より多謝申し上げます。

引用・参考文献

- 1) Albrink, M.J., Meigs, J.W. and Man, E.B., "Serum lipids, hypertension and coronary artery disease," *Am. J. Med.*, 31: 4-23, 1961.
- 2) Allain, C.C., Poon, L.S., Chan, C.G.S., Richmond, W. and Fu, P.C., "Enzymatic determination of total serum cholesterol," *Clin. Chem.*, 20: 470-75, 1974.
- 3) Ballantyne, F.C., Clark, R.S., Simpson, H.S. and Ballantyne, D., "The effect of moderate physical exercise on the plasma lipoprotein subfractions of male survivors of myocardial infarction," *Circulation*, 65: 913-18, 1982.
- 4) Beaver, W.L., Wasserman, K. and Whipp, B.J., "Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation," *J. Appl. Physiol.*, 59: 1936-40, 1985.
- 5) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J.T. and Keys, A., "Densitometric analysis of body composi-

- tion: revision of some quantitative assumptions," *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 110: 113-40, 1963.
- 6) Cooper, K.H., Pollock, M.L., Martin, R.P., White, S.R., Linnerud, A.C. and Jackson, A., "Physical fitness levels vs selected coronary risk factors: a cross-sectional study," *JAMA*, 236: 166-69, 1976.
 - 7) Dubina, T.L., Dyundikova, V.A. and Zhuk, E.V., "Biological age and its estimation. II. Assessment of biological age of albino rats by multiple regression analysis," *Exp. Gerontol.*, 18: 5-18, 1983.
 - 8) Friedewald, W.T., Levy, R.I. and Fredrickson, D. S., "Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge," *Clin. Chem.*, 18: 499-502, 1972.
 - 9) Fossati, P. and Prencipe, L., "Serum triglycerides determined colorimetrically with an enzyme that produces hydrogen peroxide," *Clin. Chem.*, 28: 2077-80, 1982.
 - 10) Furukawa, T., Inoue, M., Kajiya, F., Inada, H., Takasugi, S., Fukui, S., Takeda, H. and Abe, H., "Assessment of biological age by multiple regression analysis," *J. Gerontol.*, 30: 422-34, 1975.
 - 11) 古川俊之「寿命モデル」*数理科学*, 14: 43-55, 1976.
 - 12) Gofman, J.W., Young, W. and Tandy, R., "Ischemic heart disease, atherosclerosis and longevity," *Circulation*, 34: 679-97, 1966.
 - 13) Haga, H., Shibata, H., Shichita, K., Matsuzaki, T. and Hatano, S., "Falls in the institutionalized elderly in Japan," *Arch. Gerontol. Geriatr.*, 5: 1-9, 1986.
 - 14) Hofecker, G., Skalicky, M., Kment, A. and Niedermuller, H., "Models of the biological age of the rats. I: A factor model of age parameters," *Mech. Ageing Dev.*, 14: 345-59, 1980.
 - 15) Kannel, W.B., LeBauer, E.J., Dawber, T.R. and McNamara, P.M., "Relation of body weight to development of coronary heart disease," *Circulation*, 35: 734-44, 1967.
 - 16) Kannel, W.B., Castelli, W.P., Gordon, T. and McNamara, P.M., "Serum cholesterol, lipoproteins, and risk of coronary heart disease: The Framingham Study," *Ann. Intern. Med.*, 24: 1-12, 1971.
 - 17) 吉川和利「生理的年齢予測の重回帰分析」*健康科学*, 7: 1-9, 1985.
 - 18) 村上寿利・進藤宗洋・田中宏暁・熊谷秋三・生田純男・佐々木淳「冠動脈硬化性心疾患危険因子の判定手法としての推定最大酸素摂取量の有効性」*動脈硬化*, 15: 1665-73, 1988.
 - 19) 村上寿利・進藤宗洋・田中宏暁・熊谷秋三・今村英夫・生田純男・神宮純江・高橋紀子・佐々木淳「冠動脈硬化性心疾患危険因子の判定手法としての推定最大酸素摂取量の有効性(第二報)」*動脈硬化*, 16: 495-500, 1988.
 - 20) 中塘二三生・田中喜代次・渡辺一志・福田 隆「酵素電極法による血中乳酸濃度の測定」*Jpn. J. Sports Sci.*, 4: 980-82, 1985.
 - 21) 中村栄太郎・木村みさか・永田久紀・宮尾賢爾・小関忠尚「種々の生理機能にもとづく老化の指標としての生物学的年齢の推定(男子の場合)」*日本衛生学雑誌*, 36: 853-62, 1982.
 - 22) Nakamura, E., Miyao, K. and Ozeki, T., "Assessment of biological age by principal component analysis," *Mech. Ageing Dev.*, 46: 1-18, 1988.
 - 23) Noma, A., Okabe, H., Netsu-Nakayama, K., Ueno, Y. and Shinohara, H., "Improved method for simultaneous determination of cholesterol in high- and low-density lipoproteins," *Clin. Chem.*, 25: 1480-81, 1979.
 - 24) 佐々木陽・横内 峻・堀内成人・大森清彦「“期待年齢”による健康診断成績評価の試み」*日本老年医学会雑誌*, 7: 323-32, 1970.
 - 25) Shibata, H., Koyano, W., Shichita, K., Haga, H., Nagai, H., Suyama, Y. and Matsuzaki, T., "Physical changes and predictive factors of longevity during 5 years in 70 and 80 year old Japanese urban residents," XIII International Congress of Gerontology, New York, 1985. (Abstract)
 - 26) Tanaka, K., Yoshimura, T., Sumida, S., Mizuzono, R., Tanaka, S., Konishi, Y., Watanabe, H., Yamada, T. and Maeda, K., "Transient responses in cardiac function below, at, and above anaerobic threshold," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 356-61, 1986.
 - 27) Tanaka, K., Nakadomo, F., Yoshimura, T., Wakita, M., Fukuda, T., Sumida, S., Watanabe, H., Yamada, T. and Maeda, K., "Specificity of training on the anaerobic threshold in middle-aged obese women," *Jpn. J. Appl. Physiol.*, 16: 293-98, 1986.
 - 28) 田中喜代次・中塘二三生「肥満成人女性における体脂肪率の推定」*体力科学*, 35: 270-76, 1986.
 - 29) 田中喜代次・吉村隆喜・奥田豊子・小西洋太郎・角田 聡・出村慎一・岡田邦夫「AT水準以上の強度を基準とした完全監視型持久性運動療法および不完全監視型食事療法の併用が肥満者の健康・体力に及ぼす効果」*体力研究*, 62[Suppl]: 26-40, 1986.

(平成元年6月19日受付)