

児童生徒の心発育と形態発育の関連について

高橋恒雄・野村武男*・古賀俊策**

On the Relationships between Growth of Cardiac Functions
and Growth of physique of Children.

Tsuneo Takahashi, Takeo Nomura* and Shunsaku Koga**

(昭和57年10月30日受理)

139 male children in elementary and junior high school (6~14 years of age) were subjects of a study on the relationship between growth of cardiac functions and growth of their physique.

Heart volume was evaluated by X-ray method, and left ventricle diastolic dimension, left ventricle systolic dimension were measured by ultrasound-cardiography. Left ventricle volume, stroke volume and cardiac output were derived from pombo equation. The conclusion of this study were

1) Physique and Cardiac functions of children during 6 to 14 years of age, were developed greatly compared to values at 6 years of age. Height, body weight, heart volume, left ventricle volume, posterior wall of the left ventricle, stroke volume, cardiac output were increased by 37%, 134%, 113%, 118%, 41%, 131%, and 81%, respectively at 14 years of age.

2) The more children aged, the more individual difference of growth of their physique and cardiac functions increased. Height, body weight, as well as cardiac functions, showed great deviation at equal age group.

3) Cardiac function growth was proportional to physique growth, especially proportional to body weight increment. The correlations between surface area and heart volume, surface area and stroke volume, surface area and cardiac output, were $r = 0.73 (p < 0.001)$, $r = 0.75 (p < 0.001)$, $r = 0.67 (p < 0.001)$, respectively.

4) The correlations between heart volume and left ventricle postual wall, heart volume and stroke volume, heart volume and cardiac output were $r = 0.71 (P < 0.001)$, $r = 0.75 (P < 0.001)$, $r = 0.78 (P < 0.001)$, respectively.

1. はじめに

人の持つ作業能力の中で最も重要なものは有酸素的作業能力だと考えられている。

有酸素的作業能を決定する要因をHolmgren⁽¹⁴⁾はDimensionalな因子とFunctionalな因子に分け、中でも重要な因子に心臓の機能を述べ、心臓容積、心拍出量、一回拍出量、心拍数らは有酸素作業能を

決定する酸素運搬能力に関与する重要な因子であると述べている。また、多くの研究者らによって運動選手、非運動選手、一般人らの作業能力を示す最もよい示標とされている最大酸素摂取量と心臓容積とが密接な関連にあり、心拍出量、一回拍出量らが大きく関わっていることが報告されている⁽²⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

近年、幼少年に於ける持久性トレーニングに関心がもたれ、その適切な運動負荷量なども検討されているが、これら持久性に関わる酸素運搬系の一因子としての心臓機能の発育はどのようになっているか

* 筑波大学体育科学系

** 秋田大学教育学部

どうかは多くの知見を見ない。

本研究では小学校・中学校に於ける児童・生徒の心臓の発育を心容積、左心室容積、一回拍出量、心拍出量、心室壁厚、心拍数などをDimensionalな機能としてとらえ、形態の加齢に伴う変化との関係から心機能の発育経過を検討しようとするものである。

2. 測定方法

1) 被検者

実験の対象は秋田大学附属小学校及び中学校に在学する健康な男子児童・生徒139名であり、年齢は6才(小1)から14才(中3)までの9年間を6才~8才, 9~11才, 12才~14才の3グループに分けて検討した。なお測定は昭和53年6月~11月である。

資料は9学年の横断資料であるが、秋田市内及び近在地区より通学する児童・生徒であり、地方都市における児童・生徒の特徴をよく現わしている被検者群と考えられる。

2) 心臓容積の測定

心容積の測定は正常呼吸において吸気止息の姿勢で立位背腹像と立位側面像についてX線撮影を行ない、撮影条件として管球-フィルム間距離183cm, 露光時間0.02~0.06秒, 管電圧65~85KV P, フィルムはフジRX, 撮影機種として東芝KXO-1000を使用した。

心陰影面積は陰影をトレーシングペーパーにトレースした後、HAYASHIDENKO製Outomatic Area meterにより求積した。

また、立位側面像から心臓の最大深径として胸骨壁内側より背方側心陰影の外側までの最大距離を計測し、心容積(HV)は心陰影面積(HA)と最大深径(max d), 定数とからRohere-Kahlstorf⁽¹⁰⁾の計算式を用い、

$HV = K \times Fa \times \max d$ ($K = 0.64, Fa = HA$)
により求め、のちフィルムと心臓、光源の距離より実大像を換算し求めた。

3) 左室容積、一回拍出量、心拍出量の測定

左室容積の算出のための拡張期・収縮期左室内径の測定はUltrasound-Cardiography(心エコー法)により非観血的に行った。

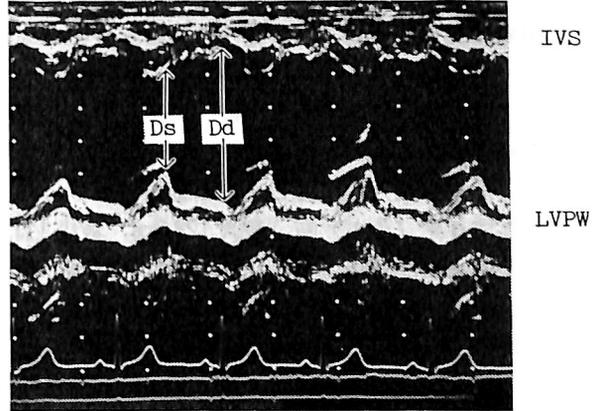
使用機種はアロカSSD-90型を用い、トランジューサーは口径13mm, 2.25MHzの探触子を使い径時的にポラロイドフィルムに撮影した。

被検者は上半身の着衣をとり、寝台上に仰臥位を

とり心電図電極を装着後、探触子の位置を胸骨左縁第3ないし第5肋間におき、僧帽弁前後尖エコーが対称的に動く方向よりわずかに心尖部方向にビームを向け(ビーム方向③)⁽¹²⁾両尖がみえかくれする方向で記録した。

左室拡張期径は心電図R波の頂点における内径を求め、左室収縮期径は左室後壁が最も前胸壁に近づいた点で計測した。

左室後壁の厚さは左室径の計測方向とし、心内膜



(14才男子)

Dd 左室拡張期径 Ds 左室収縮期径
IVS 心室中隔 LVPW 左室後壁

図1 左室内径

エコーと心外膜エコーの各々前面からの垂直距離として求めた。

左室容積の算出はpombo⁽⁵⁾⁽¹²⁾の計算法を用い、すなわち左室内腔を短径D, 長径Lの回転楕円体と考えると、その容積は

$$V = \frac{\pi}{6} D^2 L$$

さらに長径が短径の3倍とみなしうれば

$$V = \frac{\pi}{6} D^2 (2D) = \frac{\pi}{3} D^3 \approx D^3$$

となる。

一回拍出量(SV)心拍出量(CO)の算出は左室拡張期径(Dd)左室収縮期径(Ds)とし心周期を通じ短径, 長径の比が変わらなると仮定すると

$$SV = Dd^3 - Ds^3$$

心拍出量は1分間の心拍数(HR)の関係から

$$CO = SV \times HR$$

として求めた。

また、心臓係数(CI)は

$$CI = CO / BSA$$

として算出した。

3. 結果と考察

被検者の年齢別形態並びに心機能の発育経過を示す測定値の平均値、標準偏差値を表1に、心機能に関する測定項目と体表面積・心容積の相互関連を相関係数、回帰式をもって表2に示す。

形態の発育の経過を概括すると加齢に伴う増加は身長、体重、体表面積ともに顕著で昭和53年度文部省統計と比較し、発育現量値、年間増加量ともに発育の傾向は全国値とほぼ同様の傾向にあり、大きな相異は見られず14才(中3)を除いて各年令とも身長・体重において全国値を凌駕しているがRohrer's Indexなどから判断すると全体的に瘦身の都会型体型の様子にあるものと推察されたが、形態の発育は加齢に伴ない個人差が著しくなる様相にあり、例えば身長で6才(小1)時、最大128.7cm、最小111.2cm、差17.5cmが10才(小5)時、最大154.2cm、最小130.2cm、差24.0cmとなり14才(中3)では最大175.7cm、最小148.2cm、差27.5cmと広がり、体重での差は6才で11.1kg、10才20.0kg、14才31.0kgと長育に対し量育で大きく広がる様相を示した。

X線撮影とRoher-Kahlstoryの計算式を用い算出した心容積、Ultrasound-Cardiography(心エコー法)法により測定した左室拡張期径、収縮期径、左室拡張期、収縮期後壁厚、心室中隔をはじめとし一回拍出量、心拍出量、心拍数、血圧等の心機能の発育発達経過を見ると心容積では6才時270.9mlが加齢に伴って増加を示し14才では576.3mlと6才を100%とすると213%と2倍以上の発育増加をみせ、山地⁽⁸⁾の一般成人648ml、菊地⁽⁴⁾らの16才男子658mlに近ずき小学校後期から中学校期の発育が顕著な様子にある。

これを満川⁽¹⁷⁾らの臓器重量発育値に示される心臓重量の発育経過と本研究の心容積の発育経過を増加率で比較すると同様の発育傾向がみられた。

循環系の発達には形態の発達に負うところが高く、体表面積との相関を見ると(図2)全年齢では0.88($P < 0.001$)と有意な相関を示し、各グループ毎の相関は0.65~0.78($P < 0.01 \sim 0.001$)と形態的特性との関連の高さが同われた。菊地・山地らも形態と心容積間に有意の相関を認め、従来からの報告と同様の結果を示した。

しかし、図からも推察されるごとく、加齢するごとに形態と心機能は個人差が大きく広がり、同一の体表面積に属する集合体に350mlから470mlまでの心容積の大なる者と小なる者が含まれ、逆に観察す

ると同一の心容積に属する集合体に身長・体重の大なる者と小なる者がおり、14才の小心容積者と10才の大人容積者が混在し加齢するほどその傾向が強くなる様子を示した。

循環系の目的は血液を身体内の各組織へ送り出すことであり、その原動力は心臓のポンプ能力であると考えられている。ポンプ機能を理解するうえでは心容積、心室容積、心筋、脈拍ら多くの因子がありなかでも心臓の駆出量は極めて重要な因子である。この心臓の駆出量は左室容積の大きさに依在し、左室容積はその内径を計測することで知ることができる。

現在、心機能を非観血的な方法で測定する方法は数多く研究されているが、本研究では心臓の形態計測を音響インピーダンスの差異から生ずる反射波を検出する超音波すなわち心エコー法で左室の拡張末期径、収縮末期径を計測したが、心エコー法で求める心機能は心臓の内径を経時的に測定し求めるものであり、その信頼性については検討も加えられている。田中⁽⁶⁾によると心エコー法により測定された左室内径と血管造影法により求めた左室内径はかなり高い相関を示し、心エコー法で求めた心拍出量は色素稀釈法などとも良い相関を示していることを報告している。

本測定の内径について発育経過をみると6才時における拡張末期径、収縮末期径はそれぞれ 33.3 ± 3.0 mm、 21.7 ± 2.5 mmであり、10才時 38.9 ± 2.9 mm、 25.4 ± 3.6 mmと約20%の発育増加を示し、14才 43.6 ± 2.5 mm、 27.3 ± 2.9 mmと30%の増大となっており、10才以後の発育が著しい様子にあり、その増加は身長の成長と同様な増加率をみせた。

また、個人差について観察すると、 1.10 m^2 の体表面積を持つ児童の年令は8才(小3)から10才(小5)まで含まれ、左室の拡張期径でも33mmから45mmまでの巾が 1.10 m^2 内に存在することがわかる。

成人健常者についてFORTUIN⁽¹²⁾は左室拡張期径、収縮期径を 50 ± 4.1 mm、 38 ± 3.6 mmと報告し、梅田⁽¹²⁾らは 50 ± 6.0 mm、 32 ± 5.0 mmと報告し、本研究の14才での発育率は梅田の日本人成人値と比較すると拡張期径は87%、収縮期径は85%の成長率を示した。

心容積と左室内径(拡張期)の関連を見ると(図8)6才~8才では0.63($P < 0.01$)9才~11才では相関が認められず、12才~14才では0.45($P < 0.05$)と有意な関係にあった。これは体表面積と左室拡張期径の相関と共通のものであり形態の発育急進期とも重なり、形態・機能に発育面でのアンバランスが広がるなどの要素が関わっているものと推測される。

左室内径より pombo の計算式 $V = \frac{\pi}{3} D^3$ を用い

児童生徒の心発育と形態発育の関連について

表1 測定値の平均値及び標準偏差値

測定目	6才		7才		8才		9才		10才		11才		12才		13才		14才	
身長(cm)	119.2	5.4	126.3	4.0	131.4	4.0	134.5	6.6	143.8	7.1	148.6	5.8	152.3	6.6	160.8	6.4	163.4	6.9
体重(kg)	22.1	3.2	25.2	3.7	27.0	3.8	29.7	4.0	34.8	7.9	40.2	6.5	41.5	6.3	49.8	6.1	51.8	8.8
体表面積(m ²)	0.86	0.08	0.95	0.08	1.01	0.08	1.07	0.1	1.20	0.2	1.31	0.1	1.35	0.1	1.52	0.1	1.59	0.2
心陰影面積(cm ²)	66.3	7.1	75.9	9.9	79.5	11.2	84.6	12.4	89.1	13.9	92.8	10.3	101.4	12.8	110.0	10.1	112.7	11.9
心容積(ml)	270.9	36.9	317.1	50.1	346.6	61.2	380.4	77.8	414.0	82.6	437.7	57.2	488.4	85.4	567.3	51.1	576.3	85.7
心臓体重比(ml/kg)	12.4	1.5	12.6	1.1	12.9	1.7	12.8	1.9	12.1	2.0	11.0	1.1	11.9	2.2	11.5	1.4	10.9	1.7
心臓体指数(ml/m ²)	313.8	34.1	331.7	31.3	342.2	44.2	354.8	56.9	345.2	51.8	334.7	27.7	362.5	59.9	372.5	35.3	363.0	39.6
左室拡張期径(mm)	33.3	3.0	34.1	3.9	35.1	2.9	37.7	1.8	38.9	2.9	38.8	5.2	41.5	3.1	42.9	3.5	43.6	2.5
左室収縮期径(mm)	21.7	2.5	23.1	2.0	23.6	2.9	24.8	1.4	25.6	1.9	25.4	3.6	26.9	2.8	25.6	3.4	27.3	2.9
左室拡張期容積(ml)	38.6	13.4	43.4	10.6	44.5	24.4	47.5	10.4	55.1	13.6	59.3	12.3	72.8	16.7	80.8	18.6	84.0	13.8
左室収縮期容積(ml)	11.1	3.6	12.7	2.6	11.7	5.5	14.7	3.6	19.6	7.2	21.0	6.7	20.0	6.6	19.7	6.5	20.8	7.3
心室中隔(mm)	4.7	0.7	4.8	0.7	4.8	0.7	4.9	0.4	5.5	0.8	5.6	1.2	6.0	0.4	6.3	0.9	6.5	0.9
拡張期心室後壁厚(mm)	4.4	0.9	4.4	1.0	4.4	0.6	4.8	0.5	5.9	0.6	6.4	1.7	6.3	0.7	6.4	0.5	6.9	1.2
収縮期心室後壁厚(mm)	7.5	0.6	7.8	1.5	7.9	0.6	7.5	1.0	8.3	1.3	9.2	2.5	9.5	2.6	9.7	2.7	10.1	2.8
一回拍出量(ml)	27.4	10.4	29.6	12.6	32.6	6.4	36.5	6.6	40.0	11.8	42.7	15.4	52.8	11.9	63.1	14.8	63.2	11.0
心拍出量(l/min)	2.91	0.7	3.61	0.6	3.34	0.4	3.77	0.9	3.88	1.0	3.46	1.1	4.36	0.9	5.28	1.3	5.26	1.0
心係数(l/min/m ²)	3.36	0.9	3.80	1.4	3.32	0.3	3.58	0.9	3.31	0.8	3.28	0.8	3.23	0.6	3.66	0.6	3.39	0.6
安静時心拍数 (beats/min)	102.7	13.9	96.3	11.4	92.0	12.6	97.2	10.3	87.0	11.4	86.6	11.5	82.2	6.8	81.7	10.5	84.3	11.6
運動時心拍数 (beats/min)			196.7	10.4	193.5	13.8	196.8	5.7	192.3	5.2	196.3	11.5	193.8	10.9	196.1	9.7	193.9	11.8
最大血圧(mmHg)	97.3	6.8	102.8	9.3	102.9	7.6	103.4	7.9	107.0	8.0	106.1	10.4	107.2	8.5	108.5	7.9	110.3	12.3
最小血圧(mmHg)	51.7	8.7	55.3	6.6	48.3	9.3	55.6	7.4	58.4	6.4	57.2	8.5	55.2	9.2	57.5	8.7	56.1	9.4

算出した左室容積について検討する。

左室容積は心臓の駆出量すなわち一回拍出量、心拍出量を決める極めて重要な心機能因子であると考えられ、拡張期容積と収縮期容積の差が一回拍出量を決定することになり、心筋の拡張、収縮能要因となる心筋の粘弾性、伸展力、筋厚などが大きく関与すると察しられる。

Stearlingの法則では骨格筋では伸長によって筋線維の長さが増加すると、より大きな張力が発生することが知られているが、心筋についても同様であると推測すると拡張期の容積の増加は発生した張力と比例し駆出量の増加をみると考えられ、特に心筋の伸展性が低いと拡張能は増加しないと考えられ、この伸展力に関わる心筋の粘着力・弾力性、筋厚はトレーニングにより、また、小学校期後半から中・高校期は成長に際する増加が著しいものではないかと推察される。

拡張期容積、収縮期容積の発育はそれぞれ6才時 38.6 ± 13.6ml, 11.1 ± 3.6ml, 10才時 55.1 ± 13.6ml,

19.6 ± 7.2ml, 14才 84.0 ± 13.9ml, 20.8 ± 7.3mlと増加し6才時を100%とすると10才は140%, 14才220%となり量育(体重)との発育増加率と類似した値を示した。

また拡張期容積の発育増加は収縮期容積の発育増加に比べ大きく、この年代では加齢に伴う成長により心筋の拡張能力は漸増し振り易く、これはスポーツマンの安静時における心拍出量が一般人と変りないが、心拍数が一般人より少ないことが知られ、これは一回拍出量が一般人よりも大きいことを意味し、スポーツマンでは心容積にすぐれ、心臓全体が振り易いことを示すことと関連させ考察されるものである。

心室容積と形態・心容積の関連をみると(図4, 図7)形態、心容積ともに拡張期容積が収縮期容積に比べ相関が高く、各グループ毎の相関は大体0.4~0.5 (P < 0.05)の範囲にあり心容積との関連が強いものと考察された。

表2 各年令における体表面積・心容積と他計測値の相関及び回帰式

項目	年令	心容積	左室拡張期径	拡張期左室容積	拡張期心室後壁厚	一回拍出量	心拍出量
体表面積	6~8	0.7787 468.42 × - 122.2	0.3771 10.2 × + 26.2	0.2381 17.2 × + 30.7	0.1365 0.82 × + 3.9	0.3147 15.6 × + 19.1	0.5321 2.8 × + 0.7
	9~11	0.6511 346.54 × - 4.38	0.2065 7.2 × + 31.2	0.4872 49.7 × + 0.18	0.6256 4.0 × + 1.1	0.4820 35.9 × - 1.0	0.2974 1.9 × + 1.3
	12~14	0.6521 335.3 × + 50.7	0.4087 8.1 × + 30.7	0.4206 43.8 × + 14.6	0.2451 1.3 × + 4.5	0.4441 37.2 × + 4.32	0.4807 3.4 × - 0.2
	全年令	0.8829 420.02 × - 82.6	0.4713 8.6 × + 29.7	0.7306 62.4 × - 15.1	0.5157 2.8 × + 2.6	0.7497 50.4 × - 17.3	0.6678 3.1 × + 0.3
心容積	6~8		0.6280 0.03 × + 26.9	0.4345 0.05 × + 30.4	0.0262 0.0003 × + 4.6	0.4642 0.04 × + 21.6	0.6662 0.006 × + 1.4
	9~11		0.1188 0.01 × + 36.6	0.4184 0.08 × + 26.0	0.4550 0.006 × + 3.6	0.3482 0.05 × + 21.2	0.4908 0.004 × + 1.8
	12~14		0.4406 0.02 × + 33.4	0.4506 0.09 × + 28.4	0.4440 0.005 × + 3.8	0.4947 0.08 × + 15.5	0.6569 0.002 × + 1.7
	全年令		0.4731 0.02 × + 32.4	0.7375 0.13 × + 4.1	0.7149 0.007 × + 2.8	0.7505 0.11 × - 1.4	0.7754 0.008 × + 0.61

心筋厚で左室の後壁厚と呼ぶ場合は拡張末期における厚さを指し、MCDONALDら⁽¹²⁾によれば拡張末期9.0 ± 1.4mm, 収縮末期14.8 ± 3mmであり、町井⁽¹²⁾によれば日本人の小児の平均値は6~7mmであり、本研究では6才時の拡張期、収縮期の後壁厚ならびに心室中隔はそれぞれ6才時4.4 ± 0.7mm, 7.5 ± 0.6mm, 4.7 ± 0.7mm, 10才時5.9 ± 0.8mm, 8.3 ± 1.8mm, 5.5 ± 0.8mm, 14才時6.9 ± 1.2mm, 10.1 ± 1.5mm, 6.5 ± 0.9mmと発育の経過が波状的な時期もあったが、10才を経過する頃よりその発育が顕著となり加令に伴う増加は明瞭であった。

心エコー法で求めた心筋壁の厚さはMCDONALDによれば心血管造影、剖検や手術時に測定した心筋の厚さとはよく一致し、その差は1mm内外であるが、方法、計測部位など問題がないわけではなく今後の検討を要することを報告している。

体表面積と左室の拡張期後壁厚との相関は(図5)全年令では0.52 (P < 0.05) と有意な相関が認められたが6才~8才, 9才~11才では有意な関係は認められず、加令に伴って他機能と同様に個人差が広がるものと感じられた。

心容積と拡張期後壁厚の関係は(図9)9才~11才, 12才~14才では0.56 (P < 0.05) 0.44 (P < 0.05) で有意な関係にあったが6才~8才で相関が認められず、身体の発育経過を見ても小学低学年は比較的緩やかな発育経過の時期に当るのに対し、小学校高学年から中学校期はいわゆる思春期の発育急進期に当たり、身体の成長面から考察しても長育、量育幅育面での発育がアンバランスを示し、これらの機能、形態面でのアンバランスが循環系の発達に影響を及ぼしているものと考察された。

新弟子相撲力士と心陰影像より心機能を検討した江橋⁽¹⁾らの報告では、一般青少年らと比較し大きな心陰影像を示したにもかかわらず特異な体格ゆえに

身長ら体格を示す諸指標とは全く相関が認められなかったと述べているが、発育急進により形態的、機能的にも不安定な時期でもあり一過性的ではあるが、発育発達からのアンバランスにより相関が薄まる年令期が存在することも考えられる。

一回拍出量は左心室の拡張期容積と収縮期容積の差でありP. O. Astrand⁽¹⁸⁾は一回拍出量に影響する因子は心臓への静脈還流と心室の伸展であり、最も大きな要因は心室の収縮力と動脈の圧、末梢血管抵抗にあり拡張期の血液充満度は年令、性別などで限界がみられ成人男子の一回拍出量は60~80mlであり、静脈還流が増し動脈圧が上昇する運動時では100~150mlにも達することを報告している。

正常の心臓では一回拍出量の増加は拡張径を大きくするか、収縮力を強めることにより行なわれているが、勝木⁽³⁾によれば日本人の安静時の一回拍出量は仰臥位姿勢で58~75ml, 坐位姿勢で52~72mlであると述べている。また、スポーツ選手では心臓の拡大が認められるが、わずかの心拡大でも運動負荷の継続により拍出量に著しい増加がみられ、心臓の径が25%増加することにより心機能が正常であれば拍出量は2倍に増大することになる。

本研究における一回拍出量は6才時27.4ml, 8才32.6ml, 10才時40ml, 12才時52.8ml, 14才時63.2mlと加令に従って増大し、6才を100%とすると10才で140%, 14才で230%と大幅な上昇を示した。これを菊地、浅野⁽⁴⁾らのインピーダンス法による測定と比較すると6才~8才では本測定では幾分低値を示したが9才以後では大体類似した測定値にあり正常な発育状況にあるものと判断された。

一回拍出量と体表面積、心容積との関連を見ると(図6, 図10)形態、心容積の発達が一回拍出量に連っている様子が顕著で相関は0.4~0.5 (P < 0.05) で有意な値を示しながらも加令による個人差も大き

児童生徒の心発育と形態発育の関連について

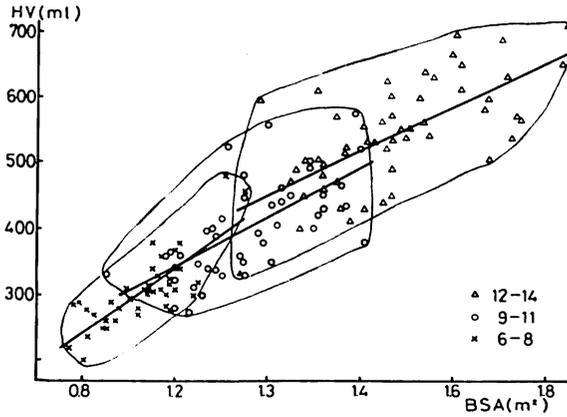


図2 体表面積と心容積

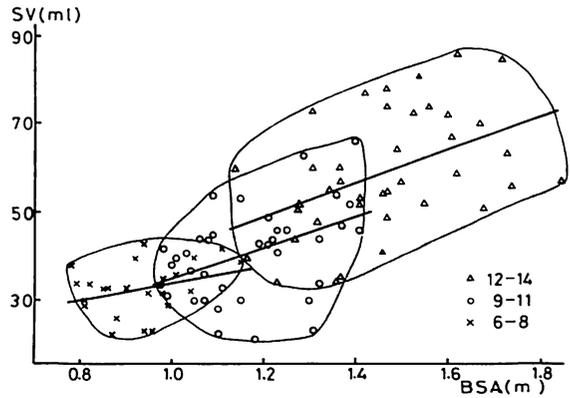


図6 体表面積と一回拍出量

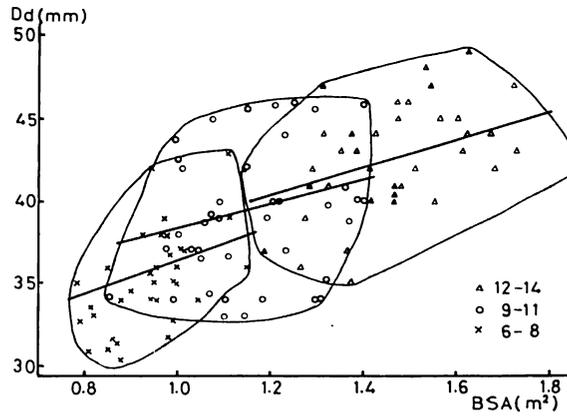


図3 体表面積と左室拡張期径

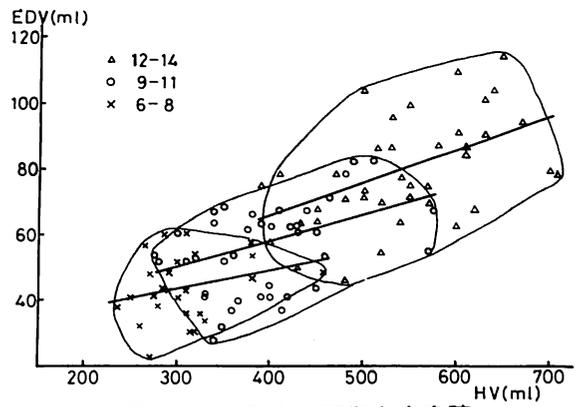


図7 心容積と拡張期左室容積

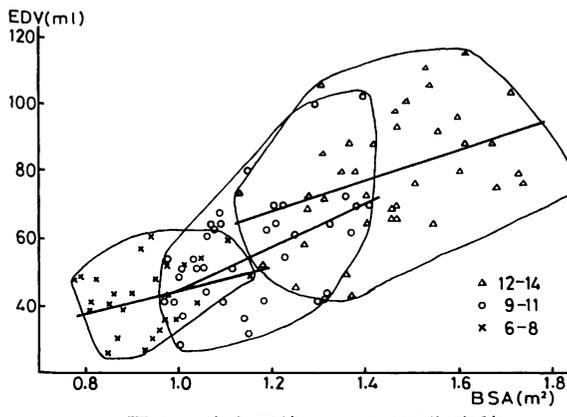


図4 体表面積と左室拡張期容積

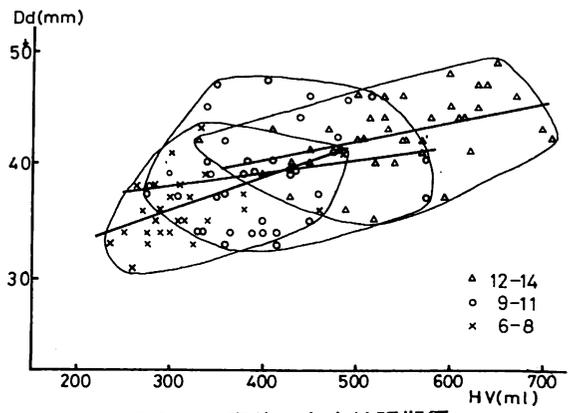


図8 心容積と左室拡張期径

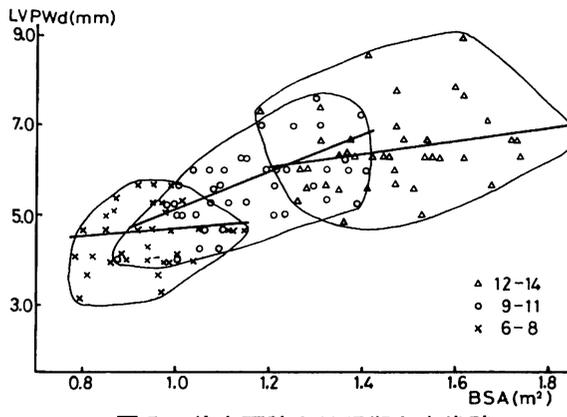


図5 体表面積と拡張期左室後壁

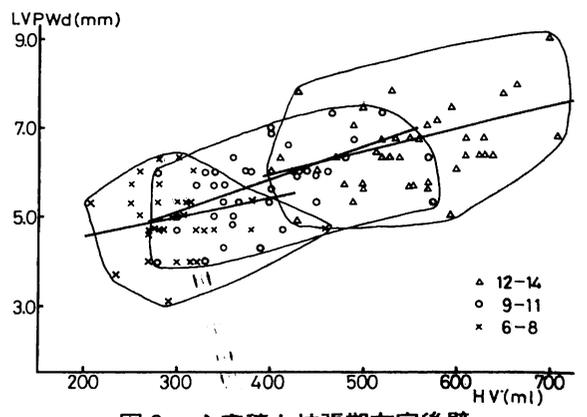


図9 心容積と拡張期左室後壁

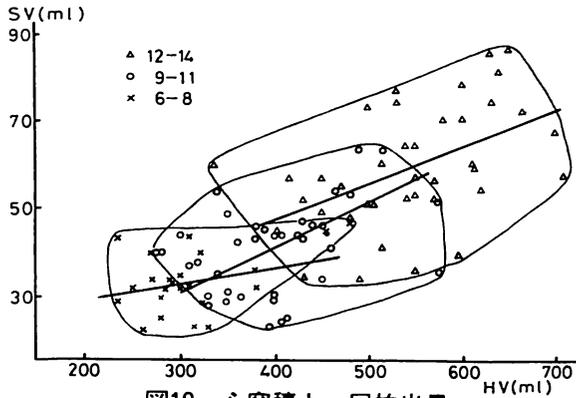


図10 心容積と一回拍出量

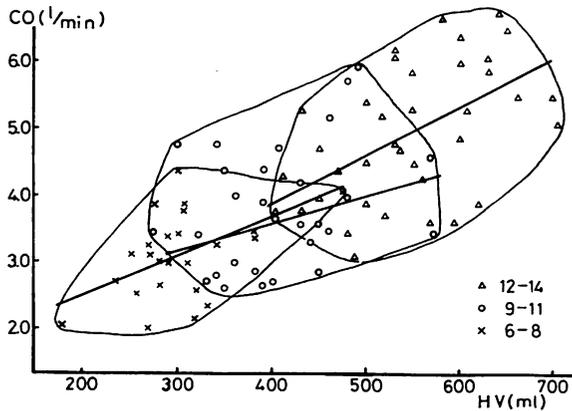


図11 心容積と心拍出量

く心機能のアンバランスから体育時らの突発的な事故らの原因を心機能が作っている様子が伺い知れるものである。

心機能を考える上では心容積、心室容積、心筋厚一回拍出量、心拍出量、心拍数、血圧らはいずれも重要な要素であると考えられ、特に心拍出量は駆出量をあらわすだけのものではなく、循環系の全能力を総合した結果を示すものであり、広くは呼吸系をも包含した機能であると考えられる。

安静時の心拍出量は年齢、性別、体格、姿勢などで異なることは知られており、成人男子で毎分5～6lで心拍数が平均70拍/分とすれば一回拍出量は70～80mlとなり、Christensenによればトレーニング者の安静時における心拍出量は一般人と変りがないが、心拍数が一般人より少ないため一回拍出量は一般人より大きい。このことはトレーニング者では心容積が一般人よりも大きいことを意味し、宮村、本田⁽¹¹⁾は日本人の最大心拍出量についてCO₂再呼吸法により測定し、一般人男子の最大心拍出量は20l/分、最大一回拍出量は約120mlであり、安静時と比較し最大心拍出量は約4倍、一回拍出量は約2倍になることを認めた。また、猪飼⁽⁹⁾⁽¹³⁾らは体力的にすぐれる者が最大運動をすると心拍数は50拍/分から200拍/分に、一

回拍出量は100から150mlに、心拍出量は5l/分から30l/分に増加し安静時の6倍になると述べている。

これらの心拍出量増加のメカニズムについてはこれまで多くの論議がなされているがRushmer⁽²⁰⁾によれば1)動脈血圧の増加、2)心拍数の増加、3)静脈積の増加、4)大静脈圧の上昇、5)拡張期の心室容積の増加であるとし、Asmussenは心拍数と一回拍出量が心拍出量増加の主要因であると考えている。

以上のように酸素運搬能としての心拍出量は一回拍出量と心拍数の積であり、これらの関係をAstrand⁽¹⁸⁾は心拍数と酸素の摂取量は直線関係にあり、一回拍出量と酸素摂取量は必ずしも運動中直線関係にはなく、最大酸素摂取量に対して30～40%の運動強度で一回拍出量は最大値の90%以上に達することを認め、心拍出量と酸素摂取量が直線関係にあるのは運動強度30～40%以後、心拍数の増加により心拍出量の増加をもたらしていることを認めた。

猪飼と宮村はスポーツマンと一般人では最大心拍出量はかなりの差がみられ、最高心拍数は運動選手一般人とも差がないことを認め、最大心拍出量はほぼ15～16才で最高値を示しこの水準は約35才ごろまで維持されることを報告している。

本研究の心拍出量についてみると他の心機能同様加齢による増加は明瞭であり6才時2.91l/min、10才時3.88l/min、14才時5.26l/minと6才時と比較し180%の増大を示し、体表面積との相関をみると6才～8才では0.53 (P<0.01)、9才～11才では0.29、12才～14才で0.48 (P<0.05)を示し、心容積と心拍出量との相関は6才～8才で0.67 (P<0.01)、9才～11才では0.35 (P<0.05)12才～14才で0.66 (P<0.01)と有意な関係を示した。(図11)

Reindell、H⁽¹⁵⁾も通常、一回拍出量は心容積と比例関係にあり、心容積の増減は拍出量の増減を反映していることを述べ、トレーニングによって肥大したスポーツ心臓にかぎらず身体其自然成長による心容積の増大はそれなりに拍出量の増加に連がり心機能面の発達を加齢に応じ本測定値にも現われているものと理解された。

作業強度に関連し心臓の活動水準をも示すと同時に心拍出量の大きな因子となる心拍数の年齢変化をみると、安静時において6才時102.7±13.9拍/分、10才時87.0±11.4拍/分と15拍/分の減少を示し、さらに14才時84.3±11.6拍/分と波状ではあるが、加齢にともなう低下を示したが成人値60～75拍/分に比べ高値にあったことは他機能と同様に成熟までに数年の余地を残すと考えられる。また、最高心拍数に

児童生徒の心発育と形態発育の関連について

ついてみると7才時196.7±10.4拍/分, 10才192.4±5.2拍/分, 14才時193.9±11.8拍/分と安静時の最大値102.7拍/分と最小値82拍/分間に21拍/分の差があったのに対し, 最高心拍数では最大値197拍/min 最小値192拍/分で5拍/分の差よりなく同一年令ではトレーニング者・一般人の間にも差が見られないという報告と同様の結果を示した。

一般に安静心拍数の少ない者は最高心拍数も少なく発育時における幼少年, 青少年前期に於いては発育段階を追って相当に変動も著しく井上²²らは6~8才男子で約90拍/分, 9~11才84拍/分, 12~14才82拍/分を上げ, 新生児や幼児では高いのは心容積が小さいため心拍出量も少なく血液の酸素飽和度が低いための補償作用と考えている。

山川, 宮原²¹は安静時心拍数が多い者は運動中の心拍数も多く, 循環機能を評価する踏台昇降運動において, 回復期の心拍数のみでは評価得点が小さくなるので安静時心拍数も評価に加えるような方式の考察を提唱している。

また, 本研究被検者における自転車エルゴメーター運動時の心拍反応は著しく200拍/分にも達したが, 身長, 体重と心拍数間には相関は認められず, 心拍数と学年別の平均値, 最大最小値をみると必ずしもその増減は形態の発育と平行した変化は示していない様相にあったが, 加令に伴う心容積, 左心容積, 心筋の増育は一回拍出量の増加へ連がりこれが必然的に心拍数の減少にと移行していることが察しられ心機能発育は明確に認められた。

心室の機能としての血圧の経過は最高血圧, 最小血圧ともに加令すると共に漸増し, 最高血圧での最小値は6才での97.3±6.8mmHg, 最大値は14才での110.3±12.3mmHgであった。最小血圧では最小値8才の48.3±9.3mmHgに対し最大値10才の58.4±6.4mmHgを示したが正常な血圧上昇, 脈圧の増加は心拍出量の増大に関連するものであり, 成長期における形態の発育に伴う心機能の向上・発達が推察された。

心拍出量を体表面積で除した心臓係数(Cardiac Index)の推移についてみると, これは心容積を体重で除した心臓体重比(quotient Herzvolumen/Korpergewicht)体表面積で除した心臓体指数(Cardiac Volume index)などと同様に心臓機能と身長, 体重の発育とのバランスの一面を示すもので児童, 生徒の体力が年令とどう関わってゆくかを知る重要な手がかりとなるものと考えられる。

Guyton²²によれば出生時2.5 l/min/m²であるが, しだいに増大し10才ごろに最高値に達し以後,

減少するという。Wade²²によると男女の間に大きな差異はなくその平値は男子で3.56 l/min/m², 女子で3.6 l/min/m²であり女子が男子よりむしろ多いくらいだったと述べている。

菊地¹⁶は15才~17才の新弟子相撲力士の心拍出量は勝木³の報告に比べ2倍に相当する値を示したが, 心臓係数は同年令一般生徒と比べ3.8 l/min/m²で一般の3.0~3.8 l/min/m²とほとんど差異はなかったと報告している。本研究における心臓係数は6才3.36 l/min/m², 10才3.88 l/min/m², 14才3.39 l/min/m²と3.2~3.8 l/min/m²の間にあり成人値に対して比較し高く心臓の発達がきわめて顕著であると推察されるものである。

4. ま と め

身体の成長に伴う器官の発達はスキヤモンの発育曲線に示されるごとく, その発育の経過は器官により相違がある。

心臓のポンプ機能を中心とする循環系の発達は形態の発達に負うところが多く心陰影像, 心容積等の発達が身長・体重・体表面積との関連が高いことは周知のことである。循環系の機能を理解する上では心容積, 心室容積, 心房容積, 心筋厚をはじめ一回拍出量, 心拍出量, 心拍数, 血圧らはいずれも極めて重要な因子であると考えられる。なかでも心拍出量は単に心臓からの血液駆出量を表わすだけのものではなく, 最大運動時には呼吸系の機能をも包含し血液のヘモグロビン量, 血液量, 静脈環流, 血管抵抗など循環系の全機能の総合した結果を示すものであり, そこで小学校・中学校の児童・生徒の心機能発育を心容積, 左心容積, 一回拍出量, 心拍出量を非観血的に測定算出し形態との関係からより明らかにしようとした。

心容積は心陰影をX線により撮影しRoher-Kahlstory法により算出し, 心機能はUltrasound-Cardiography(心エコー法)によりポラロイドフィルムに撮影し左室の拡張期径, 収縮期径を計測し, これよりpomboの計算式 $V = \frac{\pi}{3} D^3$ 法から一回拍出量, 心拍出量を算出した。

被検者は6才(小1)から14才(中3)までの健康な男子児童・生徒139名であり安静時の心機能特性を形態の発育との関連から考察し, 次のような結論を得た。
1) この年代では形態, 心機能の発達は著しく6才値を100とすると14才値は身長137, 体重234, 心容積213, 拡張期左室容積218, 拡張期心室壁厚141, 一回拍出量231, 心拍出量181, 心拍数82,

最大血圧 113 の値にあったが心臓係数は加齢による相異はみられなかった。

2) 形態の発育をはじめとして心機能の発達も加齢するほど個人差が大きく開き, 同一年令集団では身長・体重にかなり大なる者と小なる者が存在し, 心機能においても同様な傾向にあり, 同一心容積集団に10才の優れた心容積者と13才の劣心容積者が混雑し3年間前後のプラス・マイナスが存在することがわかった。

3) 心容積, 心室容積らをはじめとする心機能は形態の発育と平行し発達し, 特に体重の増加に類似した発育径過をみせ, 体表面積と相関は心容積で $r=0.73$ ($P<0.001$) 拡張期後壁厚で 0.52 ($P<0.001$) 一回拍出量と 0.75 ($P<0.001$), 心拍出量と 0.67 ($P<0.001$) を示し, 各年齢群では相関の低下の見られる年代もあったが, 総じて有意な関係が認められ形態発育と心機能発達との関わりは高いものと推察された。

4) 心容積の大小に直接的に連なる Dimensional な心室の拡張・収縮期径, 心室容積, 心筋壁の厚さらと Functional な一回拍出量, 心拍出量らは相互に密接な関係にあり相関は $0.71\sim 0.77$ ($P<0.001$) と高く, 心臓の形態的な発達が心臓の機能的な発達に相乗的な作用をしているものと考察された。

5) 心臓に関する指数では心臓体重比 (HV/wt) が加齢に伴ない減少する傾向に対し, 心臓体指数 (HV/BSA) では増加の傾向が見られた。

心臓係数 (\dot{Q}/BSA) では加齢に伴なう経過に一定の増減の傾向は感じられなかった。

参 考 文 献

- 1) 江橋博, 芝山秀太郎, 他: 心陰影像からみた新弟子相撲力士の特徴. 体力科学. 28(4), 390—391. 1979.
- 2) 猪飼道夫, 宮村実晴: 最大毎分心拍出量の性, 年令別比較, 体育学研究, 14(4), 175—183. 1970.
- 3) 勝木新次: 人体の心臓拍出量に関する研究, 第1篇. 安静時の心臓拍出量について, 労働科学研究, 10(3) 285—304. 1933.
- 4) 菊地和夫, 浅野勝己, 他: インピーダンス法による児童生徒の心機能. 第29回日本体育学会大会号. 216. 1978.
- 5) 楠川禮造, 真城巖, 他: 心エコー図による心機能評価. とくに左室造影法との対比. 内科. 36(5), 774—780. 1975.
- 6) 田中久米夫, 吉川純一, 他: 心エコー図による心内容積の測定, 呼吸と循環. 23(10). 881—891. 1975.
- 7) Ricci, B: Physical and physiological Conditiong for men., W.M.C. Brown. Co., Dubuque. Iowa. 芝山秀太郎, 江橋博

- 訳「科学的な身体づくり」現代人社. 1976.
- 8) 山地啓司: 最大作業時の日本人一般成人と中・長距離選手の呼吸・循環機能. 体育学研究. 18(5), 277—286. 1974.
 - 9) 猪飼道夫, 宮村実晴: 心拍出量からみた全身持久性2. 体育の科学. 17(6), 344—349. 1967.
 - 10) 小林昭智: X線による心臓内容積算出法. 呼吸と循環. 17(1), 975—981. 1969.
 - 11) Miyamura, M. and Y. Honda: Maximum cardiac out-put related to sex and age. Jap. J. Physiol. 23, 645—656. 1973.
 - 12) 町井潔, 他: 心臓の超音波検査法. 中外医学社. 1977.
 - 13) 水野康, 福田市蔵編: 循環器負荷試験法 松井秀治: 運動負荷試験の基礎. 22—44. 1978.
 - 14) Holmgren, A.: Cardiorespiratory determinants of Cardiovascular fitness. Canad. Med. Ass. J. 96. 697—705. 1967.
 - 15) Reindell, H., H. Klepzig, H. Steim, K. Mnsshoff, H. Roskamn, und E. Schildge.: Herz, Krislaufkrakheiten und sport. Barth, Munich, 1960.
 - 16) 菊地和夫, 田中喜代次, 他: インピーダンス変化からみた新弟子相撲力士の心機能の特長. 体力研究. 48. 50—65. 1981.
 - 17) 高石昌弘, 樋口満, 小島武次: からだの発達. 大修館. 92—95. 1981.
 - 18) Astrand, P. O., T. E. Cuddy, B. Saltin, and J. stenberg,: Cardiac output during submaximal and maximal Work. J. Appl. Physiol. 19: 268—274. 1964.
 - 19) Rushmer, R. F.: Cardiovascular Dynamics, W. B. Saunder Co., Philadelphia and London. 入沢宏, 入沢彩共訳. 循環器の生理学. 医歯薬出版. 1963.
 - 20) 井上徹, 飯田守, 他: 脈搏の年令的指数函数について, 人類遺伝学宝函, 2(2). 60—62. 1952.
 - 21) 山川純, 宮原富美子: 小学生における踏台昇降運動による全身持久力の評価について. 体育科学1. 193—208. 1973.
 - 22) 朝比奈一男, 中川功哉: 現代保健体育学大系7. 運動生理学. 大修館. 238. 1969.