

女子中学・高校生徒の肺換気能力について

岡本 和夫** 広田 公一* 豊田 博*

A Study on the Lung Ventilatory Capacity of Junior and Senior High School Girls

by

KAZUO OKAMOTO, KOICHI HIROTA and HIROSHI TOYODA

(Department of Physical Education, College of General Education University of Tokyo)

Changes in various phases of the lung ventilatory capacity due to sex and chronological age were examined using data obtained from the measurements by the 13.5 liter Benedict-Roth Type respirometer in standing position for totally 193 subjects including 137 junior and senior high school girls who dwelled in Tachikawa City in Tokyo metropolis, 37 junior high school boys, and, for comparison, 11 Yashica women volleyballers and 8 women middle-distance runners. The results were as follows:

1. The ventilatory capacity of the junior and senior high school girls showed a tendency to increase gradually at and after 12 year of age. Vital capacity and expiratory reserve volume had reached their highest values at the age of fifteen; their respective values were 3,170 ml and 974 ml. And also, it was evidenced that tidal volume, inspiratory capacity, forced expiratory volume (for a second), and ventilation rate per second reached their highest values at the age of sixteen; they were 653 ml, 2,200 ml, 279 ml, and 90.9% in order. It was demonstrated that, except for the maximum breathing capacity, the lung ventilatory capacity reached its highest values at the ages of fifteen and sixteen.

2. Compared those measurements and their age transitions described above with those of boys at the same ages, boys were superior to girls and the chronological transition of growth in the capacity was much more steep for boys. This phenomenon might be due to the difference in size of physical structures of boys and girls and also due to a time lag of pubital growth between both of them. However, it might well be thought of that, as seen from the differences in indices such as $F.E.V_{1.0}/V.C.$, $V.C./V.C.Pred.$, $M.B.C./M.B.C.Pred.$, etc., it was due to the functional differences in the lung ventilatory capacity between two groups.

3. Through the close analysis of the state of chronological development in the lung ventilatory capacity, it was found that the values of the lung ventilatory system was increased along with age as shown in the chronological transition of the indices such as breathing rate, $F.E.V_{1.0}/V.C.$, etc., in addition to the increase in the volume of the lung ventilatory system accompanying the structural growth.

4. As shown in this study, the lung ventilatory capacity of the average normal women reached its maximum value at the age of sixteen; however, it was found that the lung ventilatory capacity of the well-trained women volleyballers was remarkable superior to that of the normal average one. [Proceedings of Department of Physical Education, College of General Education University of Tokyo, No. 5, 41~48, 1970.]

* 東京大学教養学部体育研究室

** (現) 青森県立青森西高等学校

1. 緒 言

近年日本における児童生徒の発育にはめざましいものがあり、文部省の報告¹⁾によると、女子においては11才前後、男子においては12才前後に身長・体重の発育が著明であり、昭和25年当時に比較しておよそ2年の発育加速化傾向が認められることを指摘している。この形態面における発育加速化現象が機能面にも伴って現われているかどうかを知ることは、発育の正常化を期待する上にきわめて重要なことである。この点に関して著者等は思春期における女子の呼吸機能を取りあげて検討した。尚女子の呼吸機能のトレーニングによる発達の可能性についても追求した。

2. 研究対象及び方法

被検者は東京都立川市内に居住している立川三中生徒(12~14才)75名、藤村学園女子高校生(15~17才)62名の計137名、また女子バレーボール界のトップクラスヤシカチームの選手11名と全日本大学陸上競技選手権大会に大学代表として中距離競技(400・800m)に出場した女子選手8名である。又、対照群として立川三中男子生徒(12・14才)37名の呼吸機能についてもしらべ、性差に関する比較検討の資料とした。中学生および高校生女子の被検者は無作為に抽出し、その中で身体に異常のある者、あるいは幼時に呼吸系の病歴のある者についてはこの研究から除外した。

呼吸機能の測定は13.5/ Benedict-Roth型 Respirometer を用いておこなった。今回は呼吸機能のうち肺換気能力の諸項目について測定した。肺換気能力の検査にあたっては、測定時に努責呼吸を強いられるためにかなり苦しいこともあるので、被検者が測定にあたって最大の努力をおこなうか否かに方法上の問題がある。本研究では測定前に被検者に安静座位状態を20~30分とらせ、その際に最大努力をするよう注意を与えた。呼吸マスクを着装後立位安静姿勢をとらせ1~2分して換気が平静になるのをまってから、1回換気量(tidal volume)、予備呼気量(expiratory reserve volume)、肺活量(vital capacity)、分時最大換気量(maximum breathing capacity)、1秒量

(forced expiratory volume)の順で測定した。1回換気量は心理的影響を考えて目を閉じたままで、又予備呼気量は安静呼吸における呼気状態からゆっくりと呼出させた。深呼気量(inspiratory capacity)は中村・滝島等²⁾の報告にもとづいて $I.C. = V.C. - E.R.V.$ ^(註)より求め、肺活量は身体を十分使い最大吸気位から最大呼気位までゆっくり呼出させて求めた。

最大換気量は12秒法を用い、換気数が12秒間に15回に満たない時は十分休息させ再度測定した。1秒量は身体を十分使って最大吸気位からできるだけ速く呼出させる方法によって測定したが、呼出量の少ない時にはもう一度測定した。13.5/ Benedict-Roth型 Respirometerによる測定にあたっては空気もれのないよう注意するとともに、大声で被検者をはげまし、また食事時間にも注意を払った。

3. 研究結果

描記されたスパイログラムから諸気量を分析し、更に被検者の年齢・身長・体重から次の予測値の計算式を用いて実測値との比率を求めた。肺活量の予測値は、18才以下の場合、次の金山等³⁾の式によった。

$$\text{女子: } 11\sim 13 \text{ 才, V.C. (ml)} \\ = [(1.70 \times \text{年齢}) - 6.70] \times \text{身長 (cm)}$$

$$\text{: } 14\sim 17 \text{ 才, V.C. (ml)} \\ = (3.10 \times \text{年齢}) \times \text{身長 (cm)}$$

$$\text{男子: } 11\sim 13 \text{ 才, V.C. (ml)} \\ = [(1.40 \times \text{年齢}) - 1.20] \times \text{身長 (cm)}$$

$$\text{: } 14\sim 17 \text{ 才, V.C. (ml)} \\ = [(0.48 \times \text{年齢}) + 17.18] \times \text{身長 (cm)}$$

18才以上の者には笹本・横山³⁾の式を用いた。

$$\text{女子: } 18 \text{ 才以上, V.C. (ml)} \\ = [18.0 - 0.175(\text{年齢} - 18)] \times \text{身長 (cm)}$$

又分時最大換気量予測値は Monthley³⁾の立位の式によった。

$$\text{女子: M.B.C. l/min} \\ = [83 - (0.5 \times \text{年齢})] \times \text{体表面積}$$

(註) I.C. (深吸気量) = V.C. (肺活量) - E.R.V. (予備呼気量)

Table 1. 各測定項目の被検者別・年齢別の平均値と標準偏差

Subj. age, N. & M, S.D.	Items		身長 cm	体重 kg	呼吸数 回	肺活量 ml	1回換気量 ml	予備呼気量 ml	深吸気量 ml	最大換気量 l/min.	1秒量 ml	1秒率 %	比肺活量 %	比最大換気量 %
女子 中学 ・ 高校 生	12	M (S.D.)	150.8 (4.53)	41.5 (4.16)	23.0 (1.09)	2558 (391.8)	573 (46.05)	816 (181.93)	1772 (158.79)	72.5 (17.60)	2233 (395.09)	83.5 (9.22)	106.1 (11.90)	69.5 (18.46)
	13	M (S.D.)	152.8 (6.00)	43.2 (6.85)	22.0 (2.20)	2793 (362.8)	581 (78.42)	857 (158.42)	1839 (312.72)	75.0 (15.54)	2373 (469.04)	86.3 (10.06)	106.1 (8.68)	73.0 (15.78)
	14	M (S.D.)	154.9 (4.09)	50.0 (4.07)	22.0 (3.17)	2892 (239.0)	616 (63.64)	883 (174.14)	1945 (311.12)	80.2 (15.34)	2500 (317.49)	88.6 (6.14)	104.4 (5.95)	73.5 (16.65)
	15	M (S.D.)	156.1 (2.87)	52.4 (5.07)	19.3 (2.26)	3170 (267.5)	629 (37.84)	974 (179.70)	2111 (283.41)	101.5 (14.37)	2775 (261.72)	90.4 (4.22)	102.0 (7.64)	89.2 (14.16)
	16	M (S.D.)	156.6 (3.18)	49.8 (2.75)	19.7 (2.20)	3050 (275.2)	653 (78.10)	930 (227.15)	2200 (217.94)	102.2 (13.46)	2798 (270.45)	90.9 (5.16)	100.2 (3.96)	89.9 (9.42)
男子 中学生	17	M (S.D.)	155.1 (5.09)	49.7 (5.87)	20.0 (2.36)	2918 (570.8)	556 (118.04)	849 (188.41)	2200 (312.72)	106.0 (8.61)	2433 (275.76)	89.7 (6.84)	100.9 (19.16)	95.1 (7.79)
	12	M (S.D.)	154.1 (5.00)	45.0 (5.03)	19.7 (1.50)	2989 (349.9)	620 (142.39)	986 (164.70)	2071 (285.48)	101.7 (13.50)	2524 (264.57)	87.5 (8.58)	114.1 (12.04)	81.2 (13.37)
	14	M (S.D.)	166.1 (3.65)	55.5 (4.57)	18.5 (2.11)	4091 (348.1)	703 (143.60)	1383 (233.50)	2661 (336.60)	123.4 (13.47)	3610 (470.67)	85.0 (4.85)	99.7 (8.55)	87.4 (9.55)
	19~20	M (S.D.)	156.0 (2.19)	49.6 (3.66)	17.8 (2.79)	3290 (233.2)	670 (74.00)	1235 (220.04)	2070 (278.56)	134.6 (15.44)	2905 (91.92)	89.0 (4.48)	120.5 (6.75)	124.8 (14.83)
	18~12	M (S.D.)	170.0 (2.65)	65.1 (3.66)	15.7 (2.78)	4397 (416.2)	770 (94.20)	1639 (255.14)	2807 (288.91)	134.9 (14.56)	3616 (213.18)	83.4 (5.88)	154.3 (12.63)	104.5 (12.32)

男子: M.B.C. l/min

$$= [97 - (0.5 \times \text{年齢})] \times \text{体表面積}$$

$$\text{又比肺活量は } \frac{\text{肺活量実測値}}{\text{肺活量予測値}} \times 100\%$$

$$\text{比最大換気量は } \frac{\text{M.B.C. 実測値}}{\text{M.B.C. 予測値}} \times 100\%$$

$$1 \text{ 秒率は } \frac{\text{F.E.V.}_{1.0}}{\text{V.C. 実測値}} \times 100\%$$

$$\text{および } \frac{\text{F.E.V.}_{1.0}}{\text{V.C. 予測値}} \times 100\%$$

の公式から算出した。以上の方法によって求めた中学、高校生女子、中学生男子および女子運動選手についての測定結果は第1表に示すとおりである。

女子中学生(12~14才)と高校生(15~17才)の予備呼気量と肺活量は、12才以後年齢と共に増加の傾向を示し、15才で各々 974 ml, 3170 ml の最高値を示し、16才以後ではやや減少の傾向が認められた。又1回換気量・深吸気量・1秒量と1秒率は12才以後増加の傾向を示し、16才で各々 653 ml, 2200 ml, 2798 ml, 90.9% と最高の値を示し、以後やや減少の傾向が認められたが、最大換気量は17才で最高の値を示した。又比肺活量は12才以後年齢と共にやや減少するのに比較し、比最大換気量は12才以後年齢とともに次第に増加する傾向が認められた。

これらの測定値を男子中学生および女子運動選手の測定値と対比してみると、中学生男子の値は12・14才の値のみであるが、同年令の女子中学生に比較し明らかに大きな値を示している。12才から14才にかけての測定値の増加は女子にくらべてきわめて著しい。

女子陸上競技中距離選手の各測定値は深吸気と1秒率が17才の高校生女子より低いほかは他の項目で明らかに優れており、女子バレーボール選手は予備呼気量で17才女子の値の2倍近い1639 mlを示すほか、肺活量、1秒量、最大換気量が明らかに優れている。

第1・2図で肺活量と1秒量とを女子中学生の値と同年令の男子中学生および女子運動選手とを比較してみると、12・14才の中学生男子の値は同年令の中学生女子の値より明らかに大きい。陸上競技中距離女子選手の値が一般高校生と比較してそれほど大きくないのに比較し、女子バレーボール選手の値は著しく大きいことが明らかである。

4. 考 察

女子の12~15才は、女子の思春期発育の中後期にあたり⁴⁾、15才で形態面の発育がほぼ完了することは呼吸機能の測定と同時に計測した身長・体重の発育(第1表)の経過からもうかがい知ることができる。これに対して男子の12~14才の

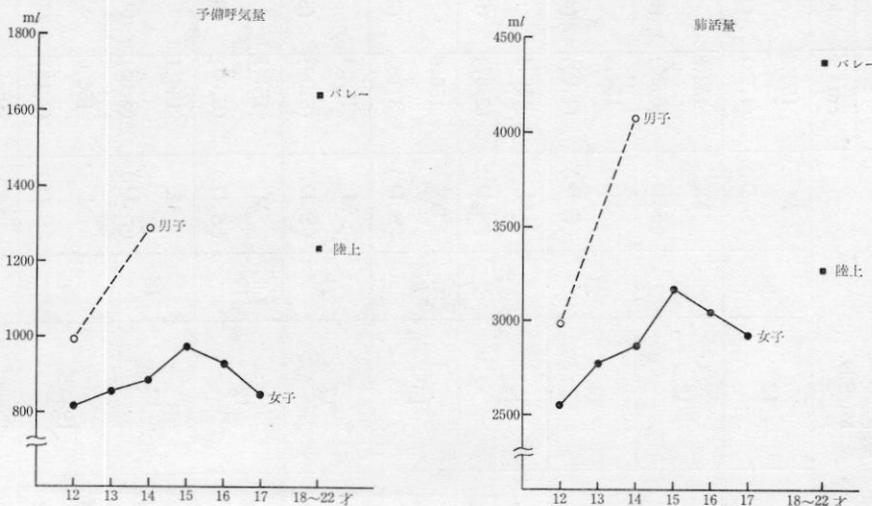


Fig. 1. 予備呼気量 (E.R.V.) と肺活量 (V.C.) の年齢別変化

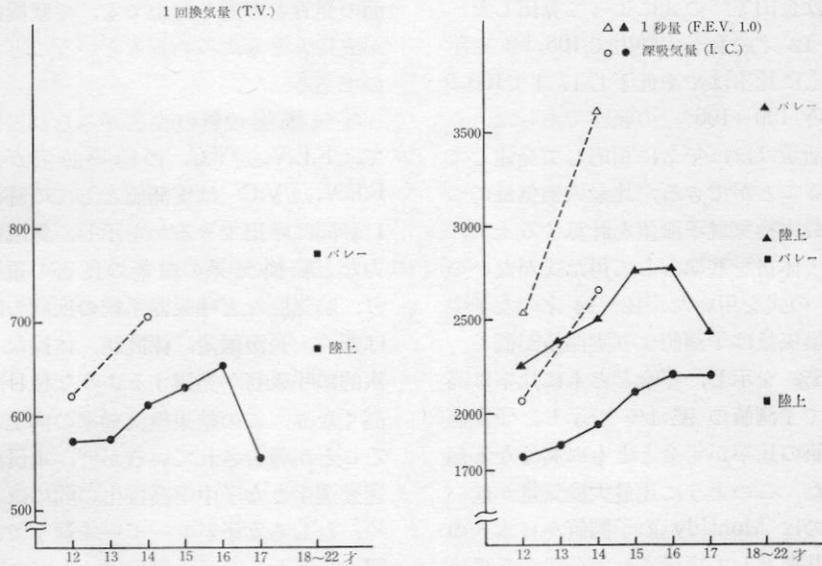


Fig. 2. 1 回換気量 (T.V.), 深吸気量 (I.C.), 1 秒量 (F.E.V. 1.0) の年齢別変化

年齢は、まさに男子の思春期発育の時期に相当しており、第1表はまたこの点についても明示している。また女子運動選手は年齢からみて生理的に身体面の発育の終了した時期である。

呼吸機能のうち肺換気能力の測定の結果は、女子中学生 (12~17 才) および男子中学生では、1 回換気量、予備呼気量、深吸気量、肺活量、1 秒量、最大換気量については、身長・体重の発育とほぼ平行した肺換気能力の発達がみられた。即ち、女子中学高校生では、身長・体重の増加がみられる 12~15 才には、これらの肺換気能力にも増加がみられ、また身長・体重の発育がほぼ停止した 15 才以後には肺換気能力の面にもほとんど増加がみられない。

17 才の高校生女子の測定値が 15, 16 才の値に比較して低いのは、17 才の被検者の体格が 15, 16 才の女子に比べて劣っていたことによると考えてよい。

12・14 才の男子中学生は、この時期の体格面の発育がきわめて顕著であり、この現象に一致して肺換気能力の測定値の増加はきわめて顕著であり、同年令の女子の増加に比較して一層著しい。したがって、肺換気能力の発達は体格の発育傾向と軌を一にしており、身長・体重の発育とともに肺換気能力も発達し、思春期の発育促進の時期

には肺換気能力の発達の促進が見られ、発育の停止とともに肺換気能力の発達も停止する。年齢にともなう肺換気能力の発達について、早川^{5,6)} は発育期男女について Collins 型を改良した Respirometer を用いて測定しており、肺活量・1 秒量は 14 才までは男女ほぼ平行した逐年的発達傾向を示すが、14 才をすぎると女子の発育が完了に近づくのに対して男子の発育はなおつづくために、14 才以後には肺活量および 1 秒量の性差が著しくなることを報告し、木田⁷⁾ も早川と全く同様な測定結果を報告しているが、これらは若干男女の形態面の逐年的発育と肺換気能力の逐年的発達とがほぼ平行するという著者等の測定成績と一致している。最大換気量についても早川⁶⁾ は男女とも年齢と平行して増加すると述べているが、著者等の研究結果も第 3 図に示すように同様であった。

人間の肺換気能力は田多井¹⁰⁾等の報告しているようにその形態面の発達と著しい相関関係がみられることは明らかである。したがって、肺換気機能の発達の良否を判定する場合には、単に測定値そのものの大小ばかりでなく、身長・体重のような形態的発育の程度を考慮して判定すべきであると考えられる。このような観点から本研究では、比肺活量、比最大換気量について検討を試みた。

肺活量予測値は金山等³⁾の式によって算出した。

比肺活量は12才の女子中学生で106.1%を示し、年令とともに比率はやや低下し17才で100.9%でありおよそ100~106%の範囲であった。このことから肺活量はほぼ年令に相応して発達していると判定することができる。比最大換気量については、その最大換気量予測値を計算する上で、日本人の年令・体格を基準として得た式がないので Monthly⁹⁾の式を用いた。12~14才の女子中学生の比最大換気量は予測値より実測値が低く、予測値の69.5%を示し、年令とともに比率は高くなり17才で予測値の95.1%を示し、予測値に対する実測値の比率が年令とともに高くなる傾向が認められた。このように比最大換気量が低い比率を示したのは Monthly の予測値が日本人の年令、体格を基準として算出された公式から求めたものでなく、外国人を基準として算出した公式であるためと考えられるが、それにしても12才の女子の69.5%の値はいかにも低すぎる。このことは形態的な発育とともに肺換気能力の量の発達がみられるほか、その質の面にも年令的に差があり、年令と共に改善されていくということも考えられる。このことは1回換気量と呼吸回数の年令的推移からも肯定できることである。12才の女子の1回換気量の平均値は570 mlであり、1分間の呼吸回数は23.0回であった。そして前者は年令とともに増加、後者は年令とともに逡減し、15才の女子ではそれぞれ629 ml, 19.3回であった。このような安静時1回換気量の増加、呼吸数の減少はトレーニング効果として運動選手に広くみられる現象であり、12才から15才に亘る形態

面の発育を考慮した上でも、呼吸機能の質の改善が成長とともにみられるということが推定されるのである。

呼吸機能の質の改善がみられる別の証左として、F.E.V._{1.0}/V.C.の値の推移があげられる。F.E.V._{1.0}/V.C.は実測値としての肺活量の何%を1秒間に呼出できるかを示し、気道抵抗・呼吸筋力など肺換気系の機能の良否の重要な指標であり、肺気腫など呼吸器系統の疾病の際にはこの値は低く、長距離走、棒高跳、体操など主または副次的に呼吸筋が発達するような種目ではこの値が高くなり、この結果換気効率の向上がもたらされることが報告されているが¹²⁾、本研究の成績では運動選手と女子中学高校生の間にほとんど差がなく、むしろ女子バレーボール選手では低い傾向が認められた。女子中学生についてこの年令的推移をみると第4図に示すように僅かな上昇が認められる。

一般女子では15・16才で肺換気系の発達が完了するが、これを高度のトレーニングを積んだ18~22才の女子バレーボール選手の各測定値と比較すると予備呼気量で約60%、深吸気量・肺活量・1秒量・最大換気量で72~79%、1回換気量で85%の能力しか有していない。一般女子が女子バレーボール選手に比較して上記の諸項目で低い値を示した原因のひとつとして、一般女子が女子バレーボール選手に比して身長・体重の形態面で劣ることがあげられるが、V.C./V.C. Pred., M.B.C./M.B.C. Pred.において、一般女子100.9%、95.0%であるのに対して女子バレーボール選手においてはそれぞれ154.3%、104.5%であるように、

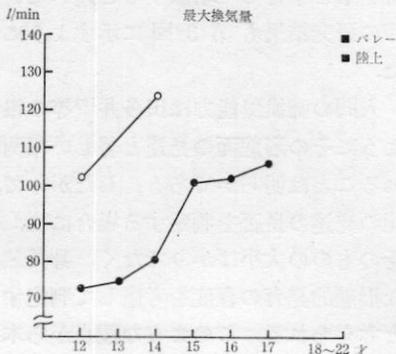


Fig. 3. 最大換気量 (M.B.C.) の年令別変化

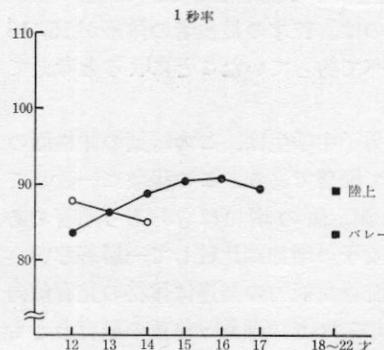


Fig. 4. 1秒率 (F.E.V._{1.0}/V.C.) の年令別変化

身長、体重など形態面の差による肺換気能力の差を消去してもなおこのような高い値が示されていることは、逆の立場でみてトレーニング効果として、肺換気系の形態面の増大のほかに機能面に積極的な改善があらわれることの証左であろう。

又1回換気量と呼吸数の関係を見ると、第5図に示すとおりで、年齢とともに1回換気量は増加するが、それに伴って呼吸数は次第に少なくなる。

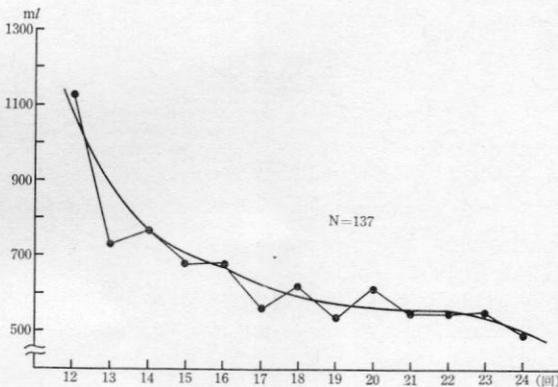


Fig. 5. 女子中学・高校生の安静時1回換気量と呼吸数の関係 (比例配分式)

5. 要 約

東京都立川市内居住の女子中学・高校生137名、男子中学生 37名と女子運動選手としてヤシカ女子バレーボールチーム選手 11名、女子陸上中距離選手の 8名の合計 193名を対象として 13.5 l Benedict-Roth 型 Respirometer を用いて立位状態で諸気量を記録し、性・年齢別による肺換気機能の変化について検討した。その結果は次のとおりである。

1) 中学・高校女子生徒の換気能力は 12 才前後から次第に向上の傾向が認められ、肺活量・予備呼吸量は 15 才で 3170 ml, 974 ml, 1 回換気量・深吸気量・1 秒量・1 秒率は各々 653 ml, 2200 ml, 279 ml, 90.9% で、16 才に最高の値に達した。最大換気量を除き女子一般人の肺換気機能は 15~16 才で最高値を示すことが認められた。

2) 上記の諸項目についてその測定値およびその年齢的推移を同年令の男子のそれと比較する

と、男子は女子に優り、発育の年齢的推移は男子の方が一層急峻である。これは主として男子と女子の形態面における大小の差により、また男子と女子の思春期発育の時期のズレによるものであろうが、F.E.V._{1.0}/V.C., V.C./V.C. Pred., M.B.C./M.B.C. Pred. 等からみられるように男女の肺換気能力の機能(質)の差も男女の肺換気能力の差の原因としてあげてよいと考えられる。

3) 肺換気能力の年齢的発達の状態をくわしく分析すると、形態面の発育に伴う肺換気系の量の増加のほかに、呼吸回数、F.E.V._{1.0}/V.C. などの年齢的推移にあらわれるように年齢の増加につれて肺換気系の値の改善もみられる。

4) 一般正常人の肺換気能力は本研究にもみられるように 16 才位で最高の値を示すが、高度のトレーニングを積んだ女子バレーボール選手の肺換気能力は更に著しく優れていることが明らかになった。

(本研究は昭和 37 年度文部省科学研究費総合研究によっておこなったもので、御協力賜った東京女子体育大学、和泉貞男教授と順天堂大学体育学部田中純二助教授に心からの謝意を表します)。

参 考 文 献

- 1) 文部省：学校保健統計調査報告書，9~17，文部省，1965。
- 2) 中村 隆・滝島 任：肺機能とその臨床，10~13，文光堂，1964。
- 3) 笹本 浩・横山哲朗：スパイログラムの臨床，45~75，医学書院，1959。
- 4) 文部省：青少年の健康と体力，8~9，帝国地方行政会刊，1966。
- 5) 早川真一：高速レスピロメーターによる発育期男女の呼吸パターンの研究，体力科学，3，(9)，284~289，1960。
- 6) 早川真一：高速レスピロメーターによる発育期男女の呼吸パターンの研究，(Ⅲ)農村小中学校男女生徒の年齢別変化，体力科学，1，(10)，43~48，1961。
- 7) 木田信子・勝木新次ほか：継続的観察に基づく少年少女の身体発育，(4)筋力および肺活量の発達，体力科学，7，132~140，1965。
- 8) R. G. Bartlett, J. R. and H. Specht: Maximum Breathing Capacity with Various Expiratory and Inspiratory Resistances, J. Appl. Physiol., 11, 79~83, 1957。

- 9) Mead, J., J. Milic-Emili and J. M. Jurner: Factors limiting depth of a maximal inspiration in human subjects, *J. Appl. Physiol.*, 18, (2), 295~296, 1963.
- 10) 田多井恭子: 成年女子の肺活量と最大換気量のノルムに関する研究, *体力科学*, 6, (6), 248~252, 1957.
- 11) 広田公一・豊田 博ほか: スクリーニングテストとしての呼吸機能検査法, *体育学研究*, 10, (1), 328~329, 1965.
- 12) 広田公一・豊田 博: 最大呼吸力に関する研究, (1) 運動選手の呼吸機能について, *体育学紀要*, 2号, 35~39, 東京大学教養学部体育学研究室, 1963.

