

脂質の動態および体力からみた  
肥満見の特徴

所属学科目 体 力 学

著 者 石井 信子

論文指導教員 石河 利寛

昭和54年3月6日

論文審査委員

栗 本 寛 夫

南 谷 和 利

齋 木 敏 生

目 次		頁
緒 言	-----	( 1 )
関連文献の考証	-----	( 5 )
1. 肥満児の有酸素的作業能力	-----	( 5 )
2. 肥満児の安静時における血 清脂質	-----	( 8 )
3. 肥満者の空腹時における FFA	-----	( 9 )
4. 運動と FFA の変化	-----	( 11 )
実験方法	-----	( 21 )
1. 被験者	-----	( 21 )
2. 測定方法および測定手順	-----	( 22 )
(1) 皮下脂肪厚, 推定体脂 脂肪率および除脂肪体重	-----	( 22 )
(2) 負荷の決定	-----	( 22 )
(3) 最大運動	-----	( 23 )
(4) 最大下運動	-----	( 25 )
(5) 血液の保存	-----	( 27 )
(6) 血液の分析	-----	( 28 )
3. 測定条件	-----	( 31 )

4. 統計処理	( 32 )
実験結果	( 33 )
1. 皮下脂肪厚, 体脂肪および 除脂肪体重	( 33 )
2. 最大運動に対する呼吸循環 応答	( 33 )
3. 最大運動実験途上の最大下 負荷に対する酸素摂取量の応 答	( 34 )
4. 最大下運動 ( 60% $\dot{V}O_{2max}$ , 30分間 ) における運動負荷お よび生体負担度	( 35 )
5. 安静時と最大下運動終了直 後の血清脂質および血糖値	( 35 )
考 察	( 39 )
1. 有酸素的作業能力	( 39 )
( 1 ) 肥満児と普通児の $\dot{V}O_{2max}$ , $\dot{V}O_{2max}/wt$ および $\dot{V}O_{2max}/LBM$ の 比較	( 39 )
( 2 ) 身体作業成績	( 41 )

2. 最大運動実験途上の最大下

負荷に対する酸素摂取量の応

答 ----- ( 42 )

3. 安静時と最大下運動終了直

後の血清脂質および血糖値 ----- ( 43 )

(1) 安静時の血清脂質およ

び血糖値 ----- ( 43 )

(2) 最大下運動終了直後の

血清脂質および血糖値 ----- ( 45 )

結 論 ----- ( 50 )

要 約 ----- ( 51 )

文 献 ----- ( 53 )

欧文要約 ----- ( 60 )

## 緒 言

肥満はいろいろな病気につながるといわれており、特に、成人肥満者は一般人と比較して、動脈硬化、高血圧、心筋傷害および糖尿病などの疾病を有する頻度の多いことが報告<sup>(16) 42)</sup>されている。

ところが、肥満児については、特に多くの疾病を有するという報告は見うけられず、肥満児および普通児を対象としてなされた安静時における血清脂質濃度についてみても、肥<sup>(18) 21) 32)</sup>満児の方が有意に高い値を示すという報告と、肥満度と血清脂質濃度には一定の関係は認め<sup>(28) 34) 39) 63)</sup>られなかったという報告とがあり、必ずしも一致した結果が得られていない。

しかし、小児期における肥満は、放置すればその50~80%が成人の肥満に移行するとい<sup>(30) 60)</sup>われており、小児期の肥満が直接疾患に結びつく例は少なくとも、疾病罹患に対する悪影響は、小児期のうちにすでに潜在的に存在していると思われる。

したがって、小児期における肥満をできるだけ早く改善して、成人の肥満に移行させないことは、成人病予防の対策として大切なことであろう。

これまで、肥満の改善に関しては、運動と栄養の面から研究が行われてきているが、一般に、肥満が中性脂肪を大量に体内に蓄積した状態であり、その原因は摂取カロリーが消費カロリーを上まわることにあるということも考慮すると、肥満の改善策のひとつは、運動によって脂肪を減少させることであると思われる。そして、運動を負荷した時の脂質の変化に注目し、肥満者と非肥満者とでその変化に差があるかどうかを明らかにしておくことは、運動によって肥満を改善していく上で重要であると考えられる。

そこで、特に、肥満児を対象とした運動負荷に対する脂質の変化に注目した研究についてみると、その報告例は比較的少ない。<sup>32) 57) 66)</sup> そして、そのいずれもが、肥満児の脂質(遊離脂

脂肪酸)動員能の低下を報告している。

しかし、問題は、これらの報告では運動時間が脂質の変化を観察するに十分な長さではなく、被験者の有酸素的作業能力の測定も行なわれていないことである。

肥満児の有酸素的作業能力については、これまで、トレッドミルによって測定された報告<sup>49) 68) 69)</sup>はなされているが、自転車エルゴメーターによって測定された報告例は見うけられない。

自転車をこぐ動作は、歩および走に匹敵するほど簡単であること、安全に運動を遂行することができること、あるいは自転車エルゴメーターでは、自己の体重を移動する動作が関与しないこと等を考えると、自転車エルゴメーター運動は、肥満児および普通児の両者に対して、ほぼ同一の条件下で行なえる運動ではないかと思われる。

そこで、本研究では、有酸素的作業能力および運動に対する血清脂質の変化から肥満児の特徴を明らかにすることとを目的に、肥満児

および普通児を対象として、有酸素的作業能力を測定するとともに、相対強度を同一にした自転車エルゴメーターによる有酸素的運動に対する血清脂質の変化を観察した。

## 関連文献の考証

ここでは、肥満児の有酸素的作業能力、安静時の血清脂質および運動を負荷した時の血清脂質の変化に注目した研究について、関連文献の考証を行なった。

## 1. 肥満児の有酸素的作業能力

## (1) 最大酸素摂取量

山岡らおよび山岡は、小学校5・6年生の男子と女子の肥満児（ローレル指数150以上）、標準およびるいそう児（同110未満）を対象として、トレッドミルによるオールアウト走を負荷した。その結果、男子の最大酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_{2max}$  と略記する）は、るいそう児では $1.3\text{ l/min}$ 、標準児では $1.8\text{ l/min}$  および肥満児では $2.0\text{ l/min}$  であり、肥満児が最も大きかったが、除脂肪体重 $1\text{ kg}$  あたりの最大酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_{2max}/\text{LBM}$  と略記する）で見ると、各群とも $50\sim 70\text{ ml/kg}\cdot\text{min}$  の間に分散し、肥満児は普通児よりもやや劣る程度であった。さらに、この傾向は女子について

も同様であった。

また、<sup>36)</sup>進藤も、本実験において対象とした被験者よりやや高年齢(12~16歳)ではあるが、普通児および肥満児について、 $\dot{V}O_{2max}$  は肥満児の方が大きく、 $\dot{V}O_{2max}/LBM$  はほとんど変わらなかったことを報告している。

<sup>49)</sup>Pařizková は、平均年齢11.7歳の男子についてトレッドミルを用いて $\dot{V}O_{2max}$ を測定し、普通児と肥満児の $\dot{V}O_{2max}$ はほぼ同じであったが、体重/kgあたりの最大酸素摂取量(以下、 $\dot{V}O_{2max}/wt$ と略記する)および $\dot{V}O_{2max}/LBM$ では、普通児の方が有意に大きかったとしている。

なお、<sup>38)</sup>成人肥満者についても、<sup>8)</sup>Moodyら、<sup>8)</sup>BoileauらおよびDaviesらは、肥満者の $\dot{V}O_{2max}$ は一般人より大きい<sup>9)</sup>が、 $\dot{V}O_{2max}/wt$ および $\dot{V}O_{2max}/LBM$ に換算すれば、一般人の方が大きいことを報告している。しかし、Dempseyらのように、 $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2max}/wt$ および $\dot{V}O_{2max}/LBM$ のすべてについて、一般人の方が大きい値を示すという報告もみられる。

以上のことから、 $V_{ozmax}$  は肥満児の方が大きいとする報告も認められるが、両者でほぼ同様の値を示し、 $V_{ozmax}/wt$  では、普通児の方が有意に大きいというのが現在の平均的知見であるといえよう。

### (エ) 身体作業成績

前述の山岡<sup>68)</sup>らおよび山岡<sup>69)</sup>は、肥満児と普通児に対してトレッドミルによるオールアウト走を負荷したところ、オールアウト走時間は過体重の肥満児が劣るが、オールアウトに至るまでの総仕事量は、肥満児の方が大きいことを報告し、肥満児の方が全身持久力の要因である  $V_{ozmax}$  が優れているが、持久能力(持続時間)の劣るのは、肥満児では自己の体重を支配するような動作において、過体重が影響するためであることを指摘している。

また、Pařizková<sup>49)</sup>は、 $V_{ozmax}$  は肥満児と普通児とで同じくらいであるが、一定スピードでなされたトレッドミル運動での走行距離は、肥満児の方が劣ることを報告している。

エ、肥満児の安静時における血清脂質

肥満児および普通児を対象とした安静時の血清脂質に関しては、臨床医あるいは学校保健の立場から次のような報告がなされている。

Moore, Thomas<sup>39)</sup> および正井と桂田<sup>63)</sup>は、肥満症小児の血清コレステロール値は、正常ないしはやや高いが、その肥満度との間に一定の関係はないことを認めている。

菅原<sup>57)</sup>らも、コレステロールについては肥満者で著明に高値を示す者もあつたが、有意な差はなく、中性脂肪および遊離脂肪酸（以下、FFAと略記する）は、肥満児の方が高値を示すことを報告<sup>28)</sup>している。

また、河合<sup>28)</sup>は、学校保健の立場から、肥満児に高血圧、糖尿病および蛋白尿の多い傾向は認められず、血圧測定や検尿の結果も正常の者が多く、コレステロール値にも病的変化は少ないという結果を得ている。

ところが、熊谷<sup>32)</sup>らおよびIshiko<sup>21)</sup>らは、肥満児において血清コレステロールが高い傾向に

あることを認め、小児期の肥満と成人病の発症との関連性を検討している。

また、日比<sup>10)</sup>も臨床医の立場から肥満児を研究し、300例中4例の肥満型成人型糖尿病を発見し、さらに、空腹時血清については、総コレステロール、総脂質、中性脂肪およびFFAの各濃度を正常者と比較すると、肥満児で有意に高い値を示すことを報告し、これらの結果が成人病予防医学的見地から重要な問題となることを指摘している。

以上のように、肥満児を対象とした安静時における血清脂質に関しては、肥満児の方が高いという報告と、肥満児と普通児とでは有意な差はないという報告とがあり、その結果は必ずしも一致しているとはいえない。

### 3. 肥満者の空腹時におけるFFA

肥満に関連したFFA値の最初の報告はDole<sup>10)</sup>によってなされ、彼は男子肥満者について、12時間の空腹後におけるFFA値が高いことを認め、さらに、肥満度と安静空腹時のFFA値

との間に比例関係が認められたことを報告している。

また、Gordon<sup>15)</sup> は、12~13時間の空腹後では、肥満者の方がFFA濃度が高いが、18~21時間後では肥満者の方が低くなることを認めており、Corvilain<sup>7)</sup>ら、Opie<sup>43)</sup>とWalfish<sup>48)</sup>、Klein<sup>31)</sup>らおよびNestelとWhyteも同様の結果を得ている。

これらの所見は、肥満者のFFA動員能が空腹時に一時的に高い値を示すが、最終的には一般者よりも劣ることを示すものと思われる。

我国においては、臼井<sup>66)</sup>ら<sup>66)</sup>が、肥満児と普通児についてFFAを長時間にわたって観察し、12時間絶食後のFFAは肥満児で高く、16時間絶食後、この差はより著しくなるが、22時間後では、ほとんど差が認められなくなったことを報告している。

また、菅原<sup>57)</sup>ら<sup>57)</sup>および塚本<sup>64)</sup>ら<sup>64)</sup>も肥満児について同様の結果を得ており、いずれも肥満児におけるFFA動員能の低下を示唆するものであろうと述べている。

#### 4. 運動とFFAの変化

血清FFAは、運動の強度や持続時間によって、その濃度が運動中、運動後に変化することが報告され、また、運動の持続時間の延長に伴い、血清FFAが運動時のエネルギー源として主な物質となることが知られている。

そこで、ここでは、肥満児および成人を対象とした運動に対する脂質の変化、主にFFAの変化に注目し、運動の種類や強度の違いによるFFAの変化の違いを検討した。

##### (1) 肥満児を対象とした運動によるFFAの変化

臼井<sup>66)</sup>らは、7~13歳までの肥満児26名および普通児22名について、階段を利用し、1階から4階までの階段昇降を10分間行なわせた結果、運動終了直後のFFAは両群とも安静時より低下したが、肥満児の方が大きな低下を示したことを認めている。

熊谷<sup>32)</sup>らは、2分間の踏台(台高16.5cm)のけあがりを行なわせた時のFFAを観察し、肥

満見について、運動終了直後に著しいFFAの低下を認めている。

また、菅原<sup>57)</sup>らは、一定負荷運動に対する血糖とFFAの変化を調べるために、自転車エルゴメーターを用い、制動8kg、時速20km、5分間の一定運動を負荷し、その影響を検討した結果、血糖の変化には明らかな差が認められなかったこと、およびFFAには両群とも運動終了直後に急激な下降が認められたが、肥満見の最低値は高値にとどまり、運動終了後最高に達するまでの時間が普通見よりも遅れ、その上昇の程度も普通見より低いことを認め、肥満見におけるFFA動員能の低下を示唆している。

以上のように、肥満見を対象として運動に対するFFAの変化を観察した報告例は少ないが、そのいずれもが短時間の運動を負荷することによって、FFAの変化をとらえ、肥満見の方が普通見よりも運動終了後のFFAの低下が大きかったと述べている。

しかし、このような短時間の運動における血清FFAの変化からFFAの動員能を推定することが適当でないことは、前述の空腹時における諸研究者の成績からも明らかであろう。

(エ) 成人を対象とした運動によるFFAの変化

### 1) 無酸素的な運動とFFAの変化

Opie と Wolfish<sup>48)</sup> は、短時間の急激な激しい運動では、肥満者は普通人に比べてアドレナリン性の神経支配が低下するか、あるいは効果的でないことを示しており、Klein<sup>31)</sup> も同様の知見を得ている。

岩本<sup>26)</sup> らは、男子大学生肥満者と鍛練群および非鍛練群に分け、踏台昇降による短時間の激運動を負荷した時の血中脂質の変化を検討した。そして、運動終了直後のコレステロールは両群ともほとんど変化しなかったが、FFAおよび中性脂肪については、両群とも僅かに減少の傾向を示したことを報告し、運動による脂質の変化については、両群に明らかな差

は認められなかったことを報告している。

また、岡本<sup>47)</sup>らも一般男子大学生（肥満群および普通群）を対象とし、ハーバードステップテストをオールアウトに至るまで行なわせ、中性脂肪およびコレステロールには大きな変化が見られなかったが、FFAは両群とも運動終了直後低下したことを報告している。

大森<sup>46)</sup>らは、一般男子大学生を虚弱群および選手群とに分け、自転車エルゴメーターにより負荷3kg、5分間の運動を行なわせ、血糖およびFFAの変化を検討したところ、短時間の激運動によって、虚弱群ではエネルギー源としての組織からのFFAの動員が増加し、遂に選手群ではFFAの動員よりも血糖の利用度が高いことを示唆している。

以上のように、短時間の無酸素的な運動を負荷したほとんどの報告がFFAの低下を認め、特に、肥満者ではアドレナリン性の神経支配が低下するという報告がなされている。

## 2) 有酸素的な運動とFFAの変化

有酸素的な運動を<sup>6)</sup>負荷した報告では、Cobb<sup>23)</sup>とJohnson<sup>6)</sup>およびIssekutz<sup>23)</sup>らが中等度の有酸素的運動はFFAの利用を促進することを認め、Havel<sup>17)</sup>ら、Rodahl<sup>51)</sup>らおよびYoung<sup>70)</sup>らは、長時間の運動負荷において、FFAが順次増加し、運動終了時には、安静時のほぼ3倍に増加したことを認めている。

また、増原<sup>35)</sup>らは、一般成人男子について40～60分間のトレッドミル走(150m/min)を行なわせ、血糖および脂質の動員に対する成長ホルモン、サイロキニンおよびコルチコイドの調整作用を検討し、運動前後で血糖には大きな差は認められなかったが、FFAについては著しい増加が認められ、さらに、これらの調整作用に対しては成長ホルモンが重要な役割を演じることを認めている。

以上のように、中等度の有酸素的な運動を負荷した報告では、いずれにおいてもFFAの利用が促進されることが明らかであるが、さらに、有酸素的な運動について、その運動強

度に注目した研究もなされている。

それらの研究のうち、相対強度を同一<sup>19)</sup>にした運動を負荷した研究では、Horstman<sup>19)</sup>らは、一般成人男子を対象として、中等度(40~50%  $\dot{V}O_{2max}$ )および強度(80~90%  $\dot{V}O_{2max}$ )のどちらの運動においてもFFAの動員と利用は増加するが、強度の運動中のFFA利用は、中等度の場合よりも大きく、このFFA利用の増加は、血しょうFFA濃度の減少によるものであると結論している。

さらに、Horstman<sup>19)</sup>らと同様に、 $\dot{V}O_{2max}$ を運動強度の指標とした田中<sup>62)</sup>らは、一般成人男子について、自転車エルゴメーターを用いて、 $\dot{V}O_{2max}$ の35、50、60および70%に相当する強度で90分間の運動を行なわせた。そして、その結果、運動中の血糖、血中乳酸、FFA、インシュリンおよびRQの変化を観察し、60%  $\dot{V}O_{2max}$ の運動において運動終了直後のFFA増加が最も大き<sup>65)</sup>かったことを報告している。

また、堤<sup>65)</sup>らは運動強度の指標として心拍数

を用い、成人男子を対象に30分間のトレッドミル歩行を行なわせたところ、心拍数が120～130拍分に達する運動強度までは、血清FFAの酸化の割合が順次増加するが、運動強度がさらに強くなると、エネルギー代謝における糖質からの供給の割合が増加すると推定される知見を得ている。

一方、絶対強度の運動を負荷した研究では、次のような報告<sup>55)</sup>がなされている。

Schwarz らは、成人肥満者および正常者について600 kpm/minの一定負荷で30分間の自転車エルゴメーターテストを実施し、FFA、血糖および成長ホルモンの変化を観察し、FFAレベルは全測定を通じて肥満者の方が高かったこと、両群とも血糖には大きな変化が認められなかったことおよび成長ホルモン上昇の程度は両群とも同程度であったことを報告し、さらに、成長ホルモンの増加が両群において同程度であった原因として、運動負荷が全被験者に対して同一であったために、肥満者に

と、ては相対的に大きな負荷となったためである」と指摘し、もし、長時間の激しい運動を行なわせるならば、肥満者は成長ホルモンを非常に高いレベルまで上昇させることができることを示唆している。

また、<sup>58)</sup> Sutton は、体カレベルの高い者および低い者について、同一絶対負荷 ( $750 \text{ kpm/min}$ , 20分間) の運動を行なわせ、FFA, 血糖、乳酸、成長ホルモンおよびコルチゾールの変化を検討し、同一の絶対負荷で運動させた時には、相対的強度が両者で異なり、体カレベルの高い者では  $35\% \dot{V}_{O2max}$  および低い者では  $85\% \dot{V}_{O2max}$  に相当したために、両者のエネルギー基質のホルモン調整が異なることを示唆し、体カレベルの低い者では、運動負荷時に血中乳酸が高く、血糖、コルチゾールおよび成長ホルモンにも大きな上昇が認められたこと、ならびに FFA については、体カレベルの高い者では増加したが、低い者では増加しなかったことを報告している。

このように、運動によるFFAの変化に関する研究では、運動終了直後の変化が報告者によって異なっているが、この理由としては、対象者、負荷した運動の種類、運動強度および時間等をあげることができるとであろう。

そして、肥満児および成人肥満者を対象とした報告について、無酸素的な運動を負荷した時のFFAの変化をみると、ほとんどの報告が運動終了直後においてFFAの低下を認めており、特に、肥満児は普通児に比べてその減少が大きいことが指摘されている。

一方、成人肥満者および一般人を対象として有酸素的な運動を負荷した報告では、いずれも運動終了直後におけるFFAの増加を認めていることが明らかである。しかし、成人肥満者と一般人との変化を比較した報告では、全被験者に対して同一絶対強度の運動を負荷したために、相対的運動強度が肥満において大きくなり、FFAの増加が両者で同程度であったことが認められている。

以上のように、有酸素的な運動を負荷した場合と、無酸素的な運動を負荷した場合とでは運動終了直後のFFAの変化が異なり、特に、有酸素的な運動を負荷した時にFFAの増加が認められており、運動による脂質の変化を検討するためには、無酸素的な運動よりも有酸素的な運動を負荷する必要があると思われる。

しかし、肥満児を対象として、有酸素的な運動によるFFAの変化を観察した報告は見うけられず、今後さらに多くの研究のなされることが望まれよう。

## 実験方法

### 1. 被験者

被験者は、習志野市立の小学校4年生から6年生までの男子13名であった。彼らは、日常、体育の授業以外には、特に、規則的にスポーツ活動を行なっていない健康な児童であった。

被験者は、昭和53年9月に同校で全校児童を対象に実施された身体計測の結果に基づいて、ローレル指数<sup>20)</sup>160以上の者12名および彼らとほぼ同様の身長を有し、ローレル指数110~130の者12名を無作為に抽出した。このうち、両親の承諾が得られた前者の6名を肥満群、後者の7名を対照群とした。

各被験者の身体的特徴は、表1に示した。

両群の身長<sup>37)</sup>および対照群の体重の平均値は、全国平均値とほぼ一致するものであったが、肥満群の体重は有意に重かった。また、肥満群のローレル指数(180)は、対照群のそれ(122)に比べて有意に大きかった( $P < 0.001$ )。

表1

## エ、測定方法および測定手順

### (1) 皮下脂肪厚，推定体脂肪率および除脂肪体重

皮下脂肪厚は，栄研式改良型皮下脂肪厚計（明興社製）を用い，右側上腕背部および右側肩甲骨下部の2カ所を測定し，その合計値をもつて示し，測定は，3回行ない，その平均値をとった。

また，この合計値から，次式<sup>40)</sup>によって身体密度を求めた。

$$\text{身体密度}(\text{g/cm}^3) = 1.0879 - 0.0051 \times (\text{上腕背部} + \text{肩甲骨下部の皮下脂肪厚})$$

(mm)

さらに，この結果に基づき，体脂肪率<sup>3)</sup>および除脂肪体重を下記の通り算出した。

$$\text{体脂肪率}(\%) = (4.570 / \text{身体密度} - 4.142) \times 100$$

$$\text{除脂肪体重}(\text{kg}) = \text{体重} \times \frac{(100 - \text{体脂肪率})}{100}$$

### (2) 負荷の決定

本測定に入る前に，まず，各被験者には2～3日，300 kpm/min（但し，50rpm）で，1日

10分間の自転車エルゴメーター運動を行なわせ、自転車エルゴメーター運動に慣れさせた。さらに、本測定に模して、心拍数をモニターしながら、心拍数が毎分およそ120、140および160拍でほぼ定常状態になる3段階の負荷で、それぞれ4分間ずつ、合計12分間の運動を一度行なった。そして、実験時には、このときの負荷を用いた。

### (3) 最大運動

被験者は、入室後、椅座位で5分間の安静を保った後に運動を開始した。

最大酸素摂取量の測定は、自転車エルゴメーター（モナーク社製）を用いて、負荷漸増法による自転車エルゴメーター運動により行なった。すなわち、練習時に決定した3段階の負荷で、それぞれ4分間ずつ連続して最大下運動を行なわせ、その後、1分毎に負荷を75 kpm/minずつ増加し、疲労困憊に至らしめた。

なお、被験者に課した最大運動時における

最大下の3段階の負荷は、全被験者に対して物理的に同一負荷であり、第1段階では225 kpm/min、第2段階では300 kpm/min および第3段階では375 kpm/minであった。

ペダルの回転数は、毎分50回転とし、メトロノームにあわせて行なわせた。

また、リズムにあわなくなつた時には、験者が号令をかけ、心電図の記録によつて暫く被験者の状態を観察し、心拍数がほぼ190拍/分に達し、さらに、リズムにあわせることが無理であると思われた時点に疲労困憊と判定した。

呼吸は、椅座位安静5分間、運動中3~4分、7~8分および11~12分、さらに、それ以後は、疲労困憊に至るまで1分毎に連続してダグラスバッグに採気した。採気した呼吸は、湿式実験用ガスマーター(WT型、品川製作所製)によつて計量し、その一部をCO<sub>2</sub>分析器(LB-2, Beckman社製)およびO<sub>2</sub>分析器(OM-11, Beckman社製)によつて分析し、

CO<sub>2</sub> および O<sub>2</sub> 分画濃度を求めた。

なお、両分析器は、労研式大型呼気ガス分析装置（柴田化学器械工業株式会社製）によって校正した。

心拍数は、胸部双極誘導により、テスト中連続記録した心電図の R 棘の数を 1 分ごとに数えて求めた。また、呼吸曲線をサーミスタ一法により、あわせて記録し、1 分ごとに呼吸数を数えた。

#### (4) 最大下運動

最大下運動の負荷強度は、最大酸素摂取量の 60% に相当する作業率とした。すなわち、最大運動テスト時の最大下における 3 段階の酸素摂取量の最大酸素摂取量に対する百分率とそれぞれの作業率との関係を直線回帰させ、最大酸素摂取量の 60% に相当する作業率を求めた（図 1）。

被験者は、昼食には普断と同じように学校給食を食べ、学校の授業終了後、午後 3 時 30 分から 4 時までの間に来室した。来室後、橋

座位で30分間の安静を保ち、25~30分の呼吸を採気した後、安静時の採血を行なった。そして、止血したことを確認してから、あらかじめ決定しておいた最大酸素摂取量の60%の負荷で、30分間の自転車エルゴメーター運動を行ない、運動が終了すると直ちに椅座位をとらせ、運動後の採血を行なった。運動終了直後の採血は、一番遅れる場合でも2分以内であった。

なお、採血は、真空採血管(仁丹テルモ社製)によって、前腕肘静脈で行ない、1回の採血量は、約5mlであった。また、肥満児には、あらかじめ蒸しタオルで温湿布をして静脈を拡張しておくように配慮した。

運動中の呼吸は、4~5分、9~10分、14~15分、19~20分、24~25分および29~30分にそれぞれ1分間ずつ採集した。

呼吸の計量および分析は、最大運動テスト時と同様に行なった。

また、心電図も最大運動テスト時と同様の

方法で、運動中連続記録した。

なお、食事の影響を除去するために、測定前日の夕食および測定当日の朝食には、脂肪分の多い食物を摂取しないよう各被験者の両親に手紙および口頭で依頼した。その結果、被験者の摂取した食物は、生野菜の他もちやパンなどの炭水化物が多く、食事に対する両親の配慮は、比較的よく行なわれていたように思われる。

#### (5) 血液の保存

血液は、血清を分離するために、採血後直ちに3000rpmで15分間の遠心分離を行なった。分離した血清は、3本の試験管に分け、密栓をして、一たん $-20^{\circ}\text{C}$ で凍結保存した。保存期間中は、総コレステロール、中性脂肪および血糖については2~3日間、および遊離脂肪酸については20~24時間とし、いずれも各成分が凍結保存によっても安定に保たれる期間内であった。

なお、分析にあたり、凍結保存しておいた

血清は、約  $30^{\circ}\text{C}$  温水中で融解<sup>34)</sup>した。

### (6) 血液の分析

各測定項目ともあらかじめ、同一検体を同一分析者によって、繰り返し10回の連続測定を行ない、それぞれの変動係数(以下、CVと略記する)を求めた。

CVは、総コレステロールでは1.0%、中性脂肪では0.7%、FFAでは2.8%および血糖<sup>25)</sup>では1.3%であり、いずれも伊藤<sup>24)</sup>らおよび伊藤の報告するCVに匹敵するものであった。

また、既知濃度の4種類の標準液を用いて、それぞれの吸光度を測定し、吸光度と濃度との関係を直線回帰させ、項目別に検量線を作成した。そして、本測定では、この検量線を用いて、測定された吸光度から検体の濃度を求めた。

### 1) 脂質の分析

総コレステロール、中性脂肪およびFFAの分析には、それぞれ Cholesterol B-Test Wako, Triglyceride-Test Wako および NEFA-Test Wako (い

ずれも和光純薬工業株式会社製)を用いて、  
次の手順により比色定量した。

(a) 総コレステロール

検体(血清および標準液)0.02mlに発色試液5.0mlを加え、混和した。また、別の試験管に発色試液5.0mlをとり、これを盲検液とした。両者を室温(15~20℃)にて40分間放置した後、光路1cmのガラス製キュベットに移し、分光光度計(101形、日立製作所製)を用いて、550nmの波長で、検体および盲検液の吸光度を測定した(以下、すべての吸光度の測定には、同一のキュベットと分光光度計を用いた)。

(b) 中性脂肪

検体(血清および標準液)0.1mlにイソプロピールアルコール3.0mlを加えてよく混和した。さらに、吸着剤1.0mlを加え、5分おきに5秒ずつ3回混和し、2500rpmで5分間遠心分離し、上清1.0mlを試験管にとった。また、別の試験管にイソプロピールアルコー

ルを 1.0 ml とし、これを盲検液とした。続いて、それぞれの試験管に 5% KOH 2 滴を加え、混和し、37°C の循環式電子冷熱装置 (TE-12K, Sharp 株式会社製) (以下、恒温水槽とする) で 15 分間加温した。

次に、緩衝液 1.0 ml と酸化剤 0.1 ml を加え、混和し、室温 (15~20°C) で 15 分間放置した後、発色試液 2.0 ml を加え、混和した。続いて、37°C 恒温水槽で 40 分間加温した後、流水で約 3 分間冷却してから、410 nm の波長で、検体および盲検液の吸光度を測定した。

なお、加温の際には、常に 37°C に保つように注意を払った。

### (c) 遊離脂肪酸

検体 (血清および標準液) 0.2 ml に銅試薬 1.0 ml を加え、さらに、抽出剤を加えて、激しく 5 分間振とう混和後、3000 rpm で約 6 分間の遠心分離を行なった。

次に、上清液 2.0 ml を試験管にとり、発色試液 2.0 ml を加え、軽く振り混ぜ、約 3 分間

放置後 460 nm の波長で検体および蒸留水の吸光度を測定した。

## 2) 血糖の分析<sup>27)</sup>

血糖の分析には, Glucose B-Test Wako (和光純薬工業株式会社製) を用い, 酵素法により行なった。

検体 (血清および標準液) 0.02 ml に発色試液 3.0 ml を加え, 混和した。また, 別の試験管に発色試液 3.0 ml を加え, これを盲検液とした。続いて, いずれも 37°C 恒温水槽で 20 分間加温した後, 505 nm の波長で検体および盲検液の吸光度を測定した。

## 3. 測定条件

測定は, 昭和 53 年 10 月 20 日から 11 月 29 日にわたり, 順天堂大学体育学部運動生理学研究室において行なった。

測定期間中の平均気温, 気圧および相対湿度は, それぞれ  $19.4 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ ,  $763.5 \pm 5.3 \text{ mmHg}$  および  $66.3 \pm 4.0\%$  であった。したがって, いずれの測定も, 被験者にとって, 比較的快

適な環境条件下で行なわれたと考えられた。

#### 4. 統計処理

肥満群と対照群との平均値および各群内の平均値を比較するために、Student の t テストを用いた。

## 実験結果

1. 皮下脂肪厚, 体脂肪および除脂肪体重  
表2は, 各被験者の皮下脂肪厚, 体脂肪率  
体脂肪量および除脂肪体重を示したものであ  
る。

皮下脂肪厚, 体脂肪率および体脂肪量につ  
いては, 肥満群の方が明らかに大きく, いず  
れも有意な差が認められた ( $P < 0.001$ )。ま  
た, 長嶺<sup>40)</sup>の皮下脂肪厚による肥満の判定基準  
に従えば, 肥満群6名のうち, 3名が肥満,  
3名が極度の肥満と判定された。

除脂肪体重については, 肥満群の方が対照  
群より大きく, 体重あたりの比率で見ると,  
肥満群では  $69.1 \pm 2.4\%$ , 対照群では  $86.5 \pm$   
 $1.8\%$  であり, 肥満群の方が小さく, いずれ  
も統計的に有意な差が認められた ( $P < 0.001$ )。

## 2. 最大運動に対する呼吸循環応答

最大運動テストで得られた運動持続時間,  
 $\dot{V}O_{2max}$ ,  $\dot{V}O_{2max}/wt$ ,  $\dot{V}O_{2max}/LBM$ , 最大心拍数  
および呼吸商を表3に示した。

運動持続時間および  $\dot{V}O_{2max}$  は、両群の平均値に有意な差は認められなかった。しかし、 $\dot{V}O_{2max}/wt$  でみると、対照群では、 $46.2 \pm 4.7$  ml/kg.min, 肥満群では、 $34.5 \pm 3.3$  ml/kg.minと明らかに対照群の方が大きく、その差は有意であった ( $P < 0.001$ )。

また、 $\dot{V}O_{2max}/LBM$  は、両群の平均値に有意な差は認められなかった。

なお、 $\dot{V}O_{2max}$  が得られたときの心拍数と呼吸商は、それぞれ対照群では  $193 \pm 4$  拍/分、 $0.97 \pm 0.07$ 、および肥満群では  $191 \pm 6$  拍/分、 $1.02 \pm 0.04$  であり、いずれも有意な差は認められなかった。

### 3. 最大運動実験途上の最大下負荷に対する酸素摂取量の応答

表4には、最大運動実験途上の最大下負荷に対する酸素摂取量を示した。

最大下における3段階の酸素摂取量については、両群の平均値間に有意な差は認められなかったが、全段階において、肥満群の方が

表4

幾分大きい一定傾向を示した。

#### 4. 最大下運動 (60% $\dot{V}O_{2max}$ , 30分間) における運動負荷および生体負担度

最大下運動の運動負荷は, 60%  $\dot{V}O_{2max}$  に規定しようとしたが, 平均%  $\dot{V}O_{2max}$  は, 肥満群では  $61.6 \pm 2.2\%$  および対照群では  $67.7 \pm 7.9\%$  であった。また, その時の平均物理的負荷ならびに平均心拍数は, それぞれ肥満群では  $325 \pm 60$  kpm/min,  $144.7 \pm 6.9$  拍/分 および対照群では  $369 \pm 73$  kpm/min,  $162.3 \pm 14.2$  拍/分であり, いずれも対照群の方が大きかった。

#### 5. 安静時と最大下運動終了直後の血清脂質および血糖値

表5には, 安静時および60%  $\dot{V}O_{2max}$  に相当する負荷で, 30分間の自転車エルゴメーター運動を行なった直後の総コレステロール, 中性脂肪, FFA および血糖値を示した。

なお, 対照群の被験者 Y.I. および肥満群の被験者 O.I. については, 運動終了直後の採血ができなかったため, 彼らのデータは, それ

表5

それぞれの平均値から除外せざるをえなかつた。

まず、安静時における各測定項目の平均値を両群で比較したところ、次のとおりであつた。

総コレステロールでは、対照群  $156.9 \pm 25.7$  mg/dl, 肥満群  $177.6 \pm 20.8$  mg/dl で、肥満群の方が高い傾向にあつたが、その差は有意ではなかつた。

中性脂肪は、両群の平均値ではほぼ等しく、全く差が認められなかつたが、群内のばらつきをみると、対照群では  $40.4 \sim 233.2$  mg/dl, 肥満群では  $90.4 \sim 153.5$  mg/dl を示し、対照群の方が大きなばらつきを示した。

FFAについては、総コレステロールと逆の傾向を示し、対照群の方がやや大きかつたが、平均値に有意な差は認められなかつた。

また、血糖の平均値にも、全く有意な差は認められなかつた。

次に、運動終了直後におけるそれぞれの平均値を両群で比較したところ、以下のとおり

であった。

総コレステロールは、安静時と同様、肥満群の方が高い傾向が認められたが、有意な差は認められなかった。

また、中性脂肪、FFA および血糖の平均値については、いずれも肥満群の方が高い傾向にあったが、有意な差ではなかった。

次に、各群内の安静時と運動終了直後の値を比較してみたところ、次のような結果であった。

総コレステロールの運動終了直後の平均値は、肥満群において、わずかに増加したが、両群とも有意といえる変化は認められなかった。

中性脂肪は、対照群では、運動終了直後に  $10.2 \text{ mg/dl}$  の減少が認められ、肥満群では、 $26.5 \text{ mg/dl}$  の増加が認められたが、その差は、いずれにおいても有意ではなかった。

FFAについては、両群とも運動終了直後に増加し、対照群では  $0.12 \text{ mEq/l}$  の増加、肥満群

では  $0.34 \text{ mEq/l}$  の増加であった。

しかし、これらの平均値に認められた増加は、肥満群においてのみ、統計的に有意であった ( $P < 0.05$ )。

血糖値は、対照群では、全ての被験者について運動終了直後の減少が認められたが、有意な差ではなかった。また、肥満群では、全く変化を示さなかった被験者 N.H. を除いたすべての被験者が増加を示し、対照群とは逆の傾向であったが、ここでも、平均値に有意な差は認められなかった。

## 考 察

## 1. 有酸素的作業能力

( 1 ) 肥満児と普通児の  $\dot{V}O_{2max}$ ,  $\dot{V}O_{2max}/wt$   
 および  $\dot{V}O_{2max}/LBM$  の比較

表6は、 $\dot{V}O_{2max}$  および  $\dot{V}O_{2max}/wt$  について、  
 本研究の結果と先行研究<sup>22) 36) 44)</sup>の結果を比較したも  
 ののである。

これらの先行研究の結果は、本研究と同様  
 にいずれも自転車エルゴメーターを用いて測  
 定されたものであり、本研究の結果と比較し  
 うるものであると思われる。

そして、表6から、本研究における被験者  
 の平均年齢が10.6歳であつたことを考慮する  
 と、本研究における両群の  $\dot{V}O_{2max}$  および対象  
 群の  $\dot{V}O_{2max}/wt$  は、先行研究の報告に匹敵する  
 ものであり、ほぼ平均的な値であつたといえ  
 よう。

また、本研究における肥満児と普通児の  
 $\dot{V}O_{2max}$ ,  $\dot{V}O_{2max}/wt$  および  $\dot{V}O_{2max}/LBM$  を比較して  
 みると、 $\dot{V}O_{2max}$  および  $\dot{V}O_{2max}/LBM$  は両群にお

いて差はなかったが、 $\text{Vozmax}/\text{wt}$  では明らかに普通見の方が大きく、有意な差が認められた ( $P < 0.001$ )。

肥満見および普通見を対象として  $\text{Vozmax}$  を比較した報告によれば、 $\text{Vozmax}$  は両者ともほぼ同様の値を示すか、あるいは、肥満見の方が大きく、 $\text{Vozmax}/\text{wt}$  は普通見の方が有意に大きいことが明らかにされている。

また、 $\text{Vozmax}/\text{LBM}$  は両者でほとんど変わらないとする報告と、普通見の方が大きいとする報告が認められている。

したがって、本研究の結果は、これまでの報告と一致していると思われる。

そして、 $\text{Vozmax}/\text{wt}$  において両群に有意な差が認められたのは、両群の  $\text{Vozmax}$  がほぼ同様であったことと、肥満群の体重が有意に大きかったことから考えると当然の結果ではあるが、この差は、両群の体脂肪量ならびに除脂肪体重に有意な差が認められていることから、これらの両方の差によって生じたものと思われる。

れる。

また、除脂肪体重と  $\dot{V}O_{2max}/wt$  との関係(図2)をみると、両者には直線的な関係が認められ、逆相関が示された( $r = 0.86$ )。

$\dot{V}O_{2max}$  と<sup>59)</sup>身体組成との関係について、<sup>67)</sup>Špryharová と<sup>4)</sup>Pařízková は、平均年齢11.5歳の肥満男子7名について、除脂肪体重と  $\dot{V}O_{2max}/wt$  との間には逆相関が認められたことを報告している。

また、Buskirk と Taylor および Welch らは、成人について同様の傾向を認めており、本研究の結果とよく一致していた。

したがって、除脂肪体重の増加は  $\dot{V}O_{2max}/wt$  の減少に結びつき、これは、除脂肪体重の増加が  $\dot{V}O_{2max}$  の増加に結びつかず、体重の増加に寄与するからであろう。

### (エ) 身体作業成績

本研究においては、身体作業成績の指標としてとりあげた運動持続時間には、両群に有意な差が認められず、むしろ肥満群において持続時間がやや長い傾向にあった。

肥満児の身体作業成績について、山岡<sup>69)</sup>ら、  
山岡<sup>69)</sup>および Parizková<sup>49)</sup> は、トレッドミルによる  
オールアウトに至るまでの走行時間は、過体  
重の肥満児の方が劣ることを報告しており、  
肥満児の持久力の劣るのは、自己の体重を支  
配するような動作では、過体重に禍されて持  
続時間が短くなること、そして、自己の体重  
を動かすのにより多くのエネルギーが用いら  
れることを指摘している。

このように、先行成績と本研究の成績とが  
異なったのは、これらの先行成績がトレッド  
ミルを使用したのに対し、本研究では自転車  
エルゴメーターを使用したためであると考え  
られる。すなわち、自転車エルゴメーターの  
場合には、自己の体重を移動する動作が関与  
していないため、両群の作業成績にはほとん  
ど差が生じなかったのではないかと思われる。  
す。最大運動実験途上の最大下負荷に対す  
る酸素摂取量の応答

最大運動実験途上における最大下負荷に対

図3  
 する酸素摂取量の応答に関して、肥満群と対照群との間には有意な差は認められなかったが、この結果を図示(図3)してみたところ、次のような傾向が認められた。

すなわち、最大下の全段階において、一定負荷に対する酸素摂取量は、肥満群の方が大きい傾向にあった。このことは、安静時の酸素摂取量が両群においてほとんど変わらないことから、最大下の一定負荷に対する酸素摂取量の増加分は、肥満群の方が大きいと考えられよう。

この点について、Bray<sup>2)</sup>は成人について本研究と同様の結果を認めており、両群の差は、肥満者の方が重い足を動かすのに余分な酸素を消費するために生じることと指摘している。

### 3. 安静時と最大下運動終了直後の血清脂質および血糖値

#### (1) 安静時の血清脂質および血糖値

安静時における総コレステロール、中性脂肪、FFAおよび血糖値はいずれにおいても両

群間に有意な差は認められず，特に異常な値を示した者も見られなかった。

肥満見および普通見を対象としてなされた安静時における血清脂質濃度に関しては，肥満見の方が有意に高い値を示すという報告<sup>(1,21,32)</sup>と肥満度と血清脂質濃度には一定の関係は認められなかったという報告<sup>(34,39,63)</sup>とがあり，必ずしも一致した結果が得られてはいない。

そこで，各測定項目について，測定値に影響<sup>(4,45)</sup>を及ぼす因子を考えると，コレステロール<sup>(4,45)</sup>では測定方法，食習慣，精神的ストレス，性周期（女性について），体位，採血時間および季節，中性脂肪<sup>(3)</sup>については，測定方法，体位および採血時間<sup>(41,61)</sup>，FFAについては，測定方法，食事，採血時間および精神的ストレス，そして血糖<sup>(52)</sup>については，測定方法，食事，採血時間，ストレスおよび採血部位があげられる。

したがって，これまでの報告が必ずしも一致しなかったのは，これらのいずれかの因子

の影響を受けていたためと思われる。

そこで、本実験ではなるべくこれらの因子の影響を受けないようにするために、測定方法、食事の条件、体位、採血時間および採血部位を同一にし、また、採血時においては、被験者に精神的ストレスを与えないように注意を払い、全被験者に対してほぼ同一の条件下で採血を行なえるように配慮した。

したがって、本実験では、全被験者に対してほぼ同一の条件下で採血が行なわれたことを考えると、本実験の肥満群と対照群については、安静時の血清脂質および血糖値には大きな差がなかったと考えられよう。

### (2) 最大下運動終了直後の血清脂質および血糖値

肥満群および対照群について、運動終了直後の安静時に対する血清脂質および血糖値の変化をみたところ、FFAを除くすべての項目には有意な変化は認められなかった。そして、FFAについては、肥満群の方が幾分大きな増

加を示し、この結果は、肥満児および成人肥満者を対象としてなされたこれまでの報告とは異なる結果であった。

このように、本実験の結果と他の先行研究とで結果が異なったのは、これまでの先行研究においては、いずれも短時間の激しい無酸素的な運動を負荷したためであると思われる。すなわち、激しい無酸素的な運動は、糖質の解糖によって行なわれるが、有酸素的な運動の場合には脂質の燃焼が加わり、その割合も糖質とほぼ同程度をしめるようになり、さらに、このような運動を長時間続けた時には、脂質の燃焼が大部分をしめるようになるため、無酸素的な運動と有酸素的な運動では、運動中に使われるエネルギー源が異なってくる。

有酸素的な運動について、田中ら<sup>62)</sup>は、その運動強度とFFAの関係を調べて、35、50、60および70%  $V_{O2max}$  に相当する強度で、それぞれ90分間の自転車エルゴメータ運動を行なわせ、60%  $V_{O2max}$  の運動において、運動終了直後

のFFAに最も大きな増加が認められたことを報告している。

このことから、本研究における60%  $V_{O2max}$ の最大下運動は、両群においてFFAの増加が期待できる運動であつたと思われる。

したがつて、本実験の結果と他の先行研究との結果が異なつたのは、本研究では有酸素的な運動を用いたのに対し、他の先行研究では無酸素的な運動を用いたためであり、負荷した運動の種類の違いによるものであると思われる。

さて、貯蔵脂肪を燃焼するためには、中性脂肪とに分解してFFAのレベルを高め、これを筋が取込んで酸化することが必要であるが、筋におけるFFAの酸化量は血中FFA濃度に比例するので、脂肪の燃焼を増加させるためには、FFA動員の促進が必要である。<sup>50)</sup>

運動負荷時のFFAの増加について、Harvel<sup>17)</sup>らおよび Marger<sup>33)</sup>らは、長時間の運動負荷によつて、安静時のおよそ3倍に増加したことを

認め、この増加は、脂肪組織からの FFA 動員  
によると述べており、また、Carlson らは、血  
中から筋細胞への FFA の流出よりも、貯蔵脂  
肪の分解によって、血中への FFA の流出が増  
加していることを示唆している。

これらのことと、本研究の結果、血糖につ  
いて大きな変化が認められなかったことを考  
えあわせると、FFA の増加は、中等度で長時  
間の運動では、糖の動員のみならず、脂質の動  
員によってエネルギーの産生が行われ、エ  
ネルギー源としての組織からの FFA の動員が  
増加していることを示していると考えられよ  
う。

そして、特に、本研究で肥満児の方が普通  
児よりも運動終了直後の FFA 増加が大きか  
ったことは、中等度で長時間の有酸素的な運動  
では、肥満児の方が多くの FFA をエネルギー  
源として使用していることを示唆するもので  
あり、肥満児の脂肪の燃焼には、本研究に用  
いた負荷強度で適当ではないかと思われる。

以上のことから、肥満群と対照群では、 $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2max}/LBM$ および身体作業成績には差がないこと、さらに、中等度で長時間の有酸素的な運動を負荷した場合に、肥満児の方が幾分大きなFFAの増加を示したことから考えると、中等度で長時間の有酸素的な運動を行なうことによって、肥満児の体脂肪を減少させることが可能ではないかと思われる。

## 結 論

肥満児は、普通児に比べて  $\dot{V}O_{2max}$ ,  $\dot{V}O_{2max}/LBM$  および身体作業成績は変わらないが、 $\dot{V}O_{2max}/wt$  が劣っていた。

また、安静時における血清脂質および血糖値にも有意な差は認められないが、最大下運動 ( $60\% \dot{V}O_{2max}$ , 30分間) 終了直後における FFA の増加は、肥満児の方が大きかった。

これらのことから、肥満児の脂肪の燃焼には、中等度の有酸素的運動で適当であることが結論づけられた。

## 要 約

1. 本研究の目的は、肥満児および普通児の有酸素的作業能力ならびに最大下運動に対する血清脂質の変化から、肥満児の特徴を明らかにすることであった。

2. 被験者は、9~11歳の健康な男子13名であり、そのうち、肥満群(ローレル指数169以上)は6名、および対照群(ローレル指数115~128)は7名であった。

3. 最大酸素摂取量( $\dot{V}O_{2max}$ )は、自転車エルゴメーター(50rpm)を用い、負荷漸増法により測定し、最大下運動は、60%  $\dot{V}O_{2max}$ で30分間の自転車エルゴメーター運動であった。採血は、安静時および最大下運動終了直後に行なった。

4.  $\dot{V}O_{2max}$  および  $\dot{V}O_{2max}/LBM$  は、両群間に有意な差は認められなかったが、 $\dot{V}O_{2max}/wt$  は対照群の方が有意に大きかった( $P < 0.001$ )。

5. 運動持続時間には両群間の差は認められなかった。

6. 安静時における総コレステロール, 中性脂肪, 遊離脂肪酸および血糖値は, 両群間に有意な差は認められなかった.

7. 最大下運動終了直後の総コレステロール, 中性脂肪および血糖値には, 両群とも有意な変化は認められなかった. 遊離脂肪酸は両群とも増加を示したが, 肥満群においてのみ, 有意な増加であった ( $P < 0.05$ ).

8. 以上の結果から, 肥満児は普通児と比較して, 最大下運動直後の遊離脂肪酸増加が大きく, また,  $\dot{V}O_{2max}/wt$  が劣ることが特徴づけられた.

## 文 献

- 1) Boileau, R.A., E.R. Buskirk, D.H. Horstman, J. Mendez and W.C. Nicholas : Body composition changes in obese and lean man during physical conditioning. Med.Sci.Sports 3 : 183-189, 1971.
- 2) Bray, G.A., B.J. Whipp, S.N. Koyal and K. Wasserman : Some respiratory and metabolic effects of exercise in moderately obese men. Metabolism 26 : 403-412, 1977.
- 3) Brožek, J., F. Grande, J.T. Anderson and A. Keys : Densitometric analysis of body composition. Ann.N.Y.Acad.Sci. 110 : 113-140, 1963.
- 4) Buskirk, E. and H.L. Taylor : Maximal oxygen intake and its relation to body composition, with special reference to chronic physical activity and obesity. J.Appl.Physiol. 11 : 72-78, 1957.
- 5) Carlson, L.A., L.G. Ekelund and L. Orö : Studies on blood lipids during exercise. Arterial concentration of plasma free fatty acid and glycerol during and after prolonged exercise in normal men. J.Lab.Clin.Med. 61 : 724-729, 1963.
- 6) Cobb, L.A. and W.P. Johnson : Hemodynamic relationship of anaerobic metabolism and plasma free fatty acids during prolong strenuous exercise in trained and untrained subjects. J.clin.Invest. 42 : 800-810, 1963.
- 7) Corvilain, J., H. Loeb, A. Champenois and M. Abramow : Effect of fasting on levels of plasma-nonesterified fatty acids in normal children, normal adults, and obese adults. Lancet No.7167 : 534-535, 1961.

- 8) Davies, C.T.M., S. Godfrey, M. Light, A. J. Sargant and E. Zeidifard : Cardiopulmonary responses to exercise in obese girls and young women. J. Appl. Physiol. 38 : 373-376, 1975.
- 9) Dempsey, J.A., W. Reddan, B. Balke and J. Rankin : Work capacity determinants and physiologic cost of weight-supported work in obesity. J. Appl. Physiol. 21 : 1815-1820, 1967.
- 10) Dole, V.P. : A relation between nonesterified fatty acid in plasma and the metabolism of glucose. J. clin. Invest. 35 : 150-154, 1956.
- 11) Duncombe, W.G. : The colorimetric microdetermination of nonesterified fatty acids in plasma. Clin. Chim. Acta 9 : 122-125, 1964.
- 12) Fletcher, M.J. : A colorimetric method for estimating serum triglycerides. Clin. Chim. Acta 22 : 393-397, 1968.
- 13) 福井 巖, 曾根 淳, 久城英人, 正木 清考, 高畑 譲二 : トリグリセライド—その数値をどう読むか—. 日本臨床 31 : 1336-1349, 1973.
- 14) 降矢 炎 : 総コレステロールの高い時低い時. 臨床検査 17 : 50-56, 1973.
- 15) Gordon, E.S. : Nonesterified fatty acids in the blood of obese and lean subjects. Am. J. Clin. Nutr. 8 : 740-746, 1960.
- 16) 長谷川吉康 : 肥満と病気. 保健の科学 16 : 358-363, 1974.
- 17) Harvel, R.J., A. Naimark and C.F. Borchgrevink : Turnover rate and oxidation of free fatty acids of blood plasma in man during continuous infusion of palmitate-1-<sup>14</sup>C. J. clin. Invest. 42 : 1054-1063, 1963.
- 18) 日比 逸郎 : 人類生態学的立場よりみた肥満小児の問題点. 民族衛生 32 : 239-240, 1966.
- 19) Horstman, D., J. Mendez, E.R. Buskirk, R. Boileau and W.C. Nicholas : Lipid metabolism during heavy and moderate exercise. Med. Sci. Sports 3 : 18-23, 1971.

- 20) 石河利寛, 池田紀子, 遠藤ちえ : 肥満児の生態と対策. 体育の科学 17 : 76-78, 1967.
- 21) Ishiko, T., N. Ikeda and Y. Enomoto : Obese children in Japan. Res. J. Physical Educ. 12 : 168-174, 1968.
- 22) 石河利寛, 形本静夫, 吉田敬義 : ステップテスト時の心拍応答による若年者の持久性評価の可能性について. 体育科学 2 : 42-51, 1974.
- 23) Issekutz, B. Jr., H. I. Miller, P. Paul and K. Rodahl : Aerobic work capacity and plasma FFA turnover. J. Appl. Physiol. 20 : 293-296, 1965.
- 24) 伊藤 朗, 鈴木政登, 金刺喜美子, 井川幸雄 : 中高年者の 60%  $V_{O2max}$  トレーニングの生化学的研究. 体育科学 3 : 96-111, 1975.
- 25) 伊藤 朗 : 運動と血液化学研究法. 体育の科学 26 : 607-611, 1976.
- 26) 岩本圭史, 岩田 淳, 河北尚夫, 伊藤 朗, 小形 久 : 肥満者(鍛練者と非鍛練者)に運動負荷した場合の血中脂質の変動についての研究. 日本体育学会 第22回大会号 : 155, 1971.
- 27) 金井 泉, 金井正光 : 臨床検査法提要Ⅷ. 54-59, 金原出版 : 東京, 1968.
- 28) 河合達雄 : 学校医の行なえる範囲で実施した肥満児童の血液理化学検査所見. 全国学校医大会紀要 : 4-43, 1968.
- 29) 川出真坂 : 遊離脂肪酸. 臨床病理臨時増刊特集 19 : 66-73, 1972.
- 30) 北川照男 : こどもの肥満. からだの科学 72 : 74-79, 1976.
- 31) Klein, R. F., W. G. Troyer, K. W. Back, T. C. Hood and M. D. Bogdonoff : Experimental stress and fat mobilization in lean and obese subjects. Metabolism 14 : 17-24, 1965.
- 32) 熊谷通夫, 加藤精彦, 井上義朗, 岡島昌子, 野崎正之, 川瀬孝夫, 藤本英一 : 小児単純性肥満症における糖質, 脂質代謝の検討. 小児科診療 29 : 911-919, 1966.

- 33) Mager, M., P.E. Iampietro and R.F. Goldman : The effect of supplementary feeding on plasma free fatty acids during work. Metabolism 13 : 823-830, 1964.
- 34) 正井 斉, 桂田瑞穂 : 小児肥満症の臨床. 小児科紀要 8 : 18-34, 1962.
- 35) 増原光彦, 滝瀬定文, 吉田精二 : 長時間走における糖および脂質代謝に対するホルモンの作用. 日本体育学会第26回大会号 : 290, 1975.
- 36) 松井秀治, 三浦望慶, 小林寛道, 豊島進太郎, 後藤サヨ子 : 小学生のステップテストに関する研究 第2報 小学生の最大酸素摂取量の発達とステップテスト. 体育科学 2 : 33-41, 1974.
- 37) 文部省体育局スポーツ課 : 昭和52年度体力・運動能力調査結果について. 健康と体力 10 (12) : 71-77, 1978.
- 38) Moody, D.L., J. Kollias and E.R. Buskirk : Evaluation of aerobic capacity in lean and obese women with four test procedures. J. Sports Med. 9 : 1-9, 1969.
- 39) Moore, N.S. : Blood lipids levels as influenced by weight reduction in women. Am. J. Med. 17 : 348-354, 1954.
- 40) 長嶺晋吉 : 皮下脂肪厚からの肥満の判定. 日本医師会雑誌 68 : 919-924, 1972.
- 41) 中村治雄 : 遊離脂肪酸の高い時低い時. 臨床検査 17 : 180-184, 1973.
- 42) 中村治雄 : 肥満をみなおす - 脂質代謝からみて -. 健康管理 25 (5) : 4-15, 1978.
- 43) Nestel, P.J. and H.M. Whyte : Plasma free fatty acid and triglyceride turnover in obesity. Metabolism 17 : 1122-1128, 1968.
- 44) 日本体育協会スポーツ科学委員会 : 昭和52年度日本体育協会スポーツ医科学調査研究事業報告 No. 1 発育期のスポーツ活動が心身に及ぼす影響. 第1報. 114 : 東京, 1978.

- 45) 萩野耕一：血清コレステロール - その数値をどう読むか - . 日本臨床 31 : 1362-1370, 1973.
- 46) 大森浩明, 吉沢秀晃, 小山又次, 佐藤宗彦, 山家 啓：自転車エルゴメーター負荷による生化学的研究(第7報). 日本体育学会第24回大会号 : 156, 1973.
- 47) 岡本圭史, 岩田 隔, 河北尚夫：肥満型と普通型に於けるハーバードステップテスト前後の尿成分の変動に関する研究. 体育学研究 15 : p.98, 1971.
- 48) Opie, L.H. and P.G. Walfish : Plasma free fatty concentration in obesity. New Eng. J. Med. 268 : 757-760, 1963.
- 49) Pařízková, J. : Body fat and physical fitness. 174-179, Martinus Nijhoff B.V. : Prague, 1977.
- 50) Paul, P. : FFA metabolism of normal dogs during steady-state exercise at different work loads. J. Appl. Physiol. 28 : 127-132, 1970.
- 51) Rodahl, K., H.I. Miller and B. Issekutz : Plasma free fatty acids in exercise. J. Appl. Physiol. 19 : 489-492, 1964.
- 52) 佐野隆志, 佐々木英継, 小山勝一, 阿部正和：ブドウ糖・ブドウ糖負荷試験 - その数値をどう読むか - . 日本臨床 31 : 1306-1316, 1973.
- 53) 佐々木匡秀, 北村元仕, 上田尚紀, 中山年正：人体のサンプリング - 血液 - . 第4版. 232-266, 講談社：東京, 1978.
- 54) 佐々木匡秀, 北村元仕, 上田尚紀, 中山年正：人体のサンプリング - 血液 - . 第4版. 38, 講談社：東京, 1978.
- 55) Schwarz, F., D.J.T. Haar, H.G.V. Riet and J.H.H. Thijssen : Response of growth hormone (GH), FFA, blood sugar and insulin to exercise in obese patients and normal subjects. Metabolism 18 : 1013-1020, 1969.
- 56) 進藤宗洋：日本体育学会第18回シンポジウムより 肥満児の運動処方と生活指導 - 報告 - . 体育の科学 18 : 55, 1968.

- 57) 菅原重道, 石井 侃, 飯田喜彦, 門田正坦: 肥満児の脂質代謝.  
小児科診療 29: 901-910, 1966.
- 58) Sutton, J.R.: Hormonal and metabolic responses to exercise in subjects of high and low work capacities. Med.Sci.Sports 10: 1-6, 1978.
- 59) Šprynarová, S. and J. Pářízková: Changes in the aerobic capacity and body composition in obese boys after reduction. J.Appl.Physiol. 20: 934-937, 1965.
- 60) 夕田 裕: 学童の肥満. Medicina 8: 176-178, 1971.
- 61) 高橋善弥太, 磯部 迪: 遊離脂酸—その数値をどう読むか—.  
日本臨床 31: 1350-1353, 1973.
- 62) 田中宏暁, 進藤宗洋, 小原 繁: 代謝からみた長時間運動の特徴.  
日本体育学会 第26回大会号: 549, 1975.
- 63) Thomas, C.B.: Degree of obesity and serum cholesterol level. Science 131: 42, 1960.
- 64) 塚本祐壮, 森本和弘, 樋上 忍: 肥満のメカニズム. 小児科 8: 67-71, 1967.
- 65) 堤 達也, 後藤 芳雄, 喜多尚武, 青木和江, 高橋登久子: 運動強度と血清遊離脂肪酸(FFA), 血糖, 血中乳酸の変動. 体力研究 No. 22: 1-18, 1971.
- 66) 白井朋包, 須藤正克, 黒田敏彦, 金村泰輔, 五百井重幸, 佐野武司, 加藤静允: 肥満児の脂質代謝および下垂体, 副腎機能. 小児科診療 29: 921-932, 1966.
- 67) Welch, B.E., R.P. Riendeau, C.E. Crisp and R.S. Isenstein: Relationship of maximal oxygen consumption to various components of body composition. J.Appl.Physiol. 12: 395-398, 1958.

- 68) 山岡誠一, 沢田安之, 中村雄策, 重村博美 : 肥満見に対する保健体育学的考察 - とくに体力について - . 体育学研究 14 : p.133, 1970.
- 69) 山岡誠一 : 肥満と運動. 保健の科学 16 : 373-377, 1974.
- 70) Young, D.R., R. Pelligra and R.R. Adachi : Serum glucose and free fatty acids in man during prolonged exercise. J. Appl. Physiol. 21 : 1047-1052, 1966.
- 71) Zlatkis, A. and B. Zak : Study of new cholesterol reagent. Anal. Biochem. 29 : 143-148, 1969.

The characteristics of obese children  
in relation to aerobic work capacity and  
to changes in serum lipids.

Nobuko ISHII

1. The purpose of the present study was to clarify the characteristics of obese boys in relation to maximal oxygen intake ( $\dot{V}o_{2max}$ ), physical performance and to changes in serum lipids after submaximal exercise.
2. Subjects were 13 healthy boys, 9 to 11 years of age. They were divided into obese group ( n=6, Rohrer's index 169 and above, termed as OG ) and control group ( n=7, Rohrer's index 117-128, termed as CG ).
3.  $\dot{V}o_{2max}$  was measured on bicycle ergometer ( 50rpm ) by progressive resistance method. Thereafter submaximal exercise was undertaken on a bicycle ergometer ( 50rpm ) for 30 minutes at the moderate intensity which was corresponded to 60 % of  $\dot{V}o_{2max}$ . Blood samples were drawn at rest and immediately after submaximal exercise.
4.  $\dot{V}o_{2max}$  and  $\dot{V}o_{2max}/LBM$  were almost the same in OG and CG, although  $\dot{V}o_{2max}/wt$  was significantly larger in CG.
5. Exhaustion time was not different between OG and CG.
6. There was no significant difference between OG and CG in their means of resting values for serum total cholesterol, triglyceride, free fatty acid and blood glucose.

7. Differences in serum total cholesterol, triglyceride and blood glucose levels before and after submaximal exercise showed no significant change in both groups. However, serum free fatty acid increased significantly in OG, while the increase in CG was not significant.
8. From the results above, it was ascertained that the increase of serum free fatty acid direct after submaximal exercise was larger in OG than CG, while OG was inferior to CG in  $\dot{V}o_{2max}/wt$ .

Table 1. Physical characteristics of subject.

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Rohrer's index	
Obese group	N.H.	10.8	138.2	44.50	169
	K.I.	10.2	138.0	51.92	198
	Y.K.	11.2	137.7	47.05	180
	O.I.	9.8	142.6	52.66	182
	T.K.	10.9	139.2	47.10	175
	S.S.	10.6	137.8	46.40	177
$\bar{X} \pm SD$	10.6 $\pm$ 0.5	138.9 $\pm$ 1.7	48.27 $\pm$ 2.98	180 $\pm$ 9	
Control group	M.Y.	11.6	138.7	31.73	119
	K.N.	11.3	143.0	36.79	126
	Y.I.	10.3	140.9	35.90	128
	K.Y.	10.8	141.6	35.20	124
	Ha.I.	10.3	139.2	31.66	117
	K.S.	9.8	136.4	29.26	115
	H.I.	10.1	135.5	30.96	124
$\bar{X} \pm SD$	10.6 $\pm$ 0.6	139.3 $\pm$ 2.5	33.07 $\pm$ 2.65	122 $\pm$ 5	

Table 2. Skinfold thickness, body fat and lean body mass of subjects.

Subject	Skinfold thickness (mm) (Triceps+Subscapula)	Body fat		Lean body mass (kg)	
		(%)	(kg)		
Obese group	N.H.	34.9	27.3	12.13	32.37
	K.I.	45.5	34.2	17.75	34.17
	Y.K.	37.5	28.9	13.61	33.44
	O.I.	43.5	32.9	17.31	35.35
	T.K.	42.0	31.9	15.01	32.09
	S.S.	39.5	30.3	14.04	32.36
	$\bar{X} \pm SD$	40.5 $\pm$ 3.6	30.9 $\pm$ 2.4	14.98 $\pm$ 2.00	33.30 $\pm$ 1.17
Control group	M.Y.	10.0	11.8	3.74	27.99
	K.N.	18.5	16.9	6.23	30.56
	Y.I.	15.6	15.2	5.45	30.45
	K.Y.	9.7	11.6	4.08	31.12
	Ha.I.	13.5	13.9	4.40	27.26
	K.S.	12.6	13.3	3.90	25.36
	H.I.	10.5	12.1	3.75	27.21
	$\bar{X} \pm SD$	12.9 $\pm$ 3.0	13.5 $\pm$ 1.8	4.51 $\pm$ 0.89	28.56 $\pm$ 2.01

Table 3. Responses to maximal exercise.

Subject	Exhaustion time (sec)	$\dot{V}o_{2max}$ (ml/min)	$\dot{V}o_{2max}/wt$ (ml/kg.min)	$\dot{V}o_{2max}/LBM$ (ml/kg.min)	HRmax (beats/min)	RQ	
Obese group	N.H.	1227	1564	35.2	48.3	193	1.00
	K.I.	1162	1578	30.4	46.2	183	1.04
	Y.K.	1291	1734	36.8	51.9	194	1.10
	O.I.	1212	1637	31.1	46.3	186	0.96
	T.K.	1249	1880	39.9	58.6	191	1.01
	S.S.	1163	1545	33.3	47.7	201	0.99
$\bar{X} \pm SD$	1217 $\pm$ 46	1656 $\pm$ 118	34.5 $\pm$ 3.3	49.8 $\pm$ 4.4	191 $\pm$ 6	1.02 $\pm$ 0.04	
Control group	M.Y.	1095	1507	47.5	53.8	188	0.90
	K.N.	1026	1364	37.1	44.6	186	0.91
	Y.I.	1093	1515	42.2	49.8	193	0.94
	K.Y.	1293	1778	50.5	57.1	196	0.99
	Ha.I.	1054	1451	45.8	53.2	194	1.04
	K.S.	1225	1500	51.2	59.1	197	1.11
	H.I.	1073	1524	49.2	56.0	195	0.93
$\bar{X} \pm SD$	1123 $\pm$ 91	1520 $\pm$ 117	46.2 $\pm$ 4.7	53.4 $\pm$ 4.5	193 $\pm$ 4	0.97 $\pm$ 0.07	

Table 4. Response to submaximal exercise.

Subject	Oxygen intake (ml/min)			
	1st stage	2nd stage	3rd stage	
Obese group	N.H.	628	780	973
	K.I.	908	1014	1263
	Y.K.	802	959	1166
	O.I.	808	989	1128
	T.K.	809	912	1075
	S.S.	763	890	1093
$\bar{X} \pm SD$	786 $\pm$ 83	924 $\pm$ 77	1116 $\pm$ 88	
Control group	M.Y.	760	845	1035
	K.N.	636	740	747
	Y.I.	732	754	940
	K.Y.	724	827	888
	Ha.I.	647	827	944
	K.S.	643	835	939
	H.I.	676	863	887
$\bar{X} \pm SD$	688 $\pm$ 46	813 $\pm$ 43	911 $\pm$ 81	

Table 5. Serum total cholestetol, triglyceride, free fatty acid and blood glucose levels before and after exercise.

	Subject	Total cholesterol (mg/dl)		Triglyceride (mg/dl)		Free fatty acid (mEq/l)		Blood glucose (mg/dl)	
		B	A	B	A	B	A	B	A
Obese group	N.H.	160.6	162.3	148.4	143.3	0.50	1.19	77.9	77.9
	K.I.	180.6	133.1	113.6	148.4	0.26	0.24	111.6	115.8
	Y.K.	194.8	208.9	90.4	133.9	0.32	0.78	78.3	85.7
	T.K.	203.9	208.9	110.7	170.1	0.21	0.56	80.4	90.7
	S.S.	148.1	187.3	153.5	153.5	0.86	1.09	73.0	94.8
	$\bar{X} \pm SD$	177.6 $\pm$ 20.8	180.1 $\pm$ 29.1	123.3 $\pm$ 24.0	149.8 $\pm$ 12.0	0.43 $\pm$ 0.24	0.77 $\pm$ 0.35	84.2 $\pm$ 13.9	93.0 $\pm$ 12.7
Control group	M.Y.	129.8	151.4	56.4	65.1	0.22	0.41	82.8	76.7
	K.N.	158.1	113.9	186.1	212.9	0.25	0.40	74.6	66.0
	K.Y.	203.9	212.3	139.7	112.2	0.65	0.59	96.4	91.9
	Ha.I.	171.4	184.8	92.6	68.7	0.88	1.21	89.0	88.6
	K.S.	148.1	133.1	40.4	40.4	0.67	0.75	76.3	73.4
	H.I.	129.8	134.8	233.2	187.5	0.55	0.58	82.0	63.1
	$\bar{X} \pm SD$	156.9 $\pm$ 25.7	155.1 $\pm$ 33.6	124.7 $\pm$ 69.0	114.5 $\pm$ 64.6	0.54 $\pm$ 0.23	0.66 $\pm$ 0.27	83.5 $\pm$ 7.4	76.6 $\pm$ 10.7

B: Before exercise, A: After exercise

Table 6. Comparison of  $\dot{V}O_{2max}$  and  $\dot{V}O_{2max}/wt$  between preceding studies and present study.

		$\dot{V}O_{2max}$ (l/min)	$\dot{V}O_{2max}/wt$ (ml/kg.min)
Present study	Obese group (Boys, 10.6yr, n=6)	$1.656 \pm 0.118$	$34.5 \pm 3.3$
	Control group (Boys, 10.6yr, n=7)	$1.520 \pm 0.117$	$46.2 \pm 4.7$
Ishiko et al. <sup>22)</sup> (Boys, 10yr, n=15)		$1.56 \pm 0.24$	$45.4 \pm 5.4$
Matsui et al. <sup>36)</sup>	(Boys, 10yr, n=6)	$1.34 \pm 0.17$	$44.4 \pm 4.79$
	(Boys, 11yr, n=6)	$1.57 \pm 0.14$	$43.2 \pm 2.98$
Japan amateur sports association <sup>44)</sup> (Boys, 9-10yr, n=130)		$1.30 \pm 0.254$	$42.66 \pm 8.514$





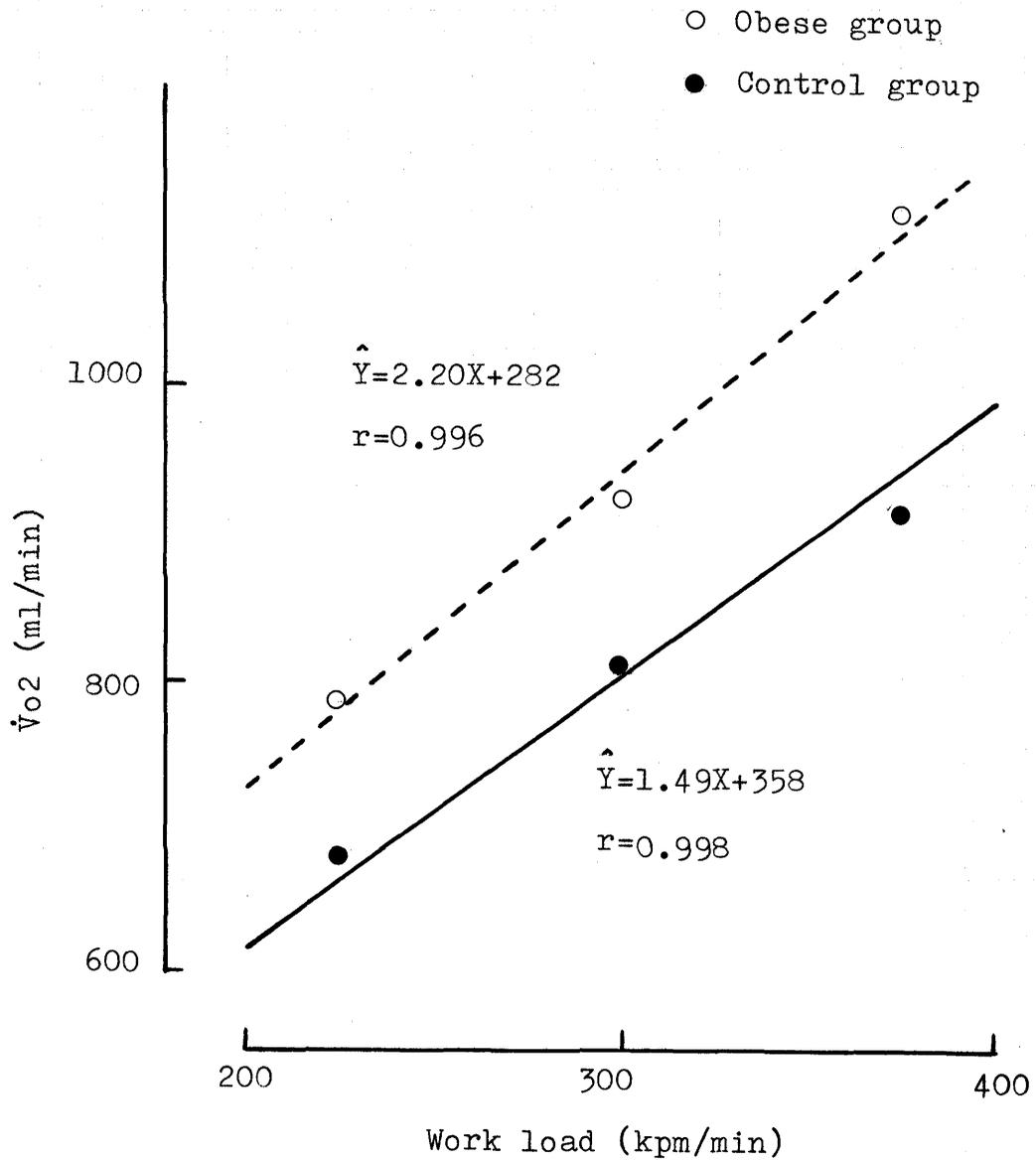


Fig.3. Relationship between work load and oxygen intake.