トレーニングを積んだ少年の運動開始時における酸素摂取応答

所属学科目　　体力学

著　者　　吉田博幸

論文指導教員　　青木純一郎

昭和61年3月4日

論文審査委員

石田絢子

千葉裕典

南谷和利

目次

第1章　緒言

酸素摂取量は運動を開始してから時間経過に伴い指数関数的に上昇する[24)]。したがって，その応答速度（立ち上がり）の特性を表わすためには，定常状態に達するまでの1/2の時間すなわち，half timeまたはhalf reaction time（$t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$）および定常状態の1/e（eは自然対数）に達するまでの時間である時定数（time constant）が用いられる。

運動開始時における酸素摂取量の立ち上がり特性は生体の呼吸系，循環系および代謝系の統合された機能を反映する[34)]。したがって，トレーニングによってこれらの器官の機能に変化が生じれば，$t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$あるいは時定数にも特有の変化が現われると考えられる。

Hagbergら（1978）[22)]は成人男子の非鍛練群と持久的鍛練群の$t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$を比較した。その結果，後者の方が同一の絶対的および相対的強度の両方で$t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$が短い傾向にあることを示した。そして，これはトレーニングによる循環機能

の向上や酸化酵素活性の上昇に起因するものであるとした。また，Hicksonら(1978)[25]は成人男子に持久的トレーニングを行わせ，$t_{1/2}\dot{V}O_2$が短縮する傾向にあることを認めた。そして，これはトレーニングによって酸化ミオグロビン含有量が増加し，エネルギー需要に対する有酸素性代謝の調節がより速やかになったためであるとしている。

一方，MáčekとVávra(1980)[35]は最大負荷の90〜100％の運動に対する少年と成人の酸素摂取応答を比較した。その結果，少年の$t_{1/2}\dot{V}O_2$の方が短いことを認め，この差は循環系の調節あるいは解糖系の酵素（PFK）活性の相違によるものであることを示唆した。同様の報告が石河ら(1981)[28]およびMáčekら(1984)[37]によってもなされている。

しかし，児童では持久的トレーニングの呼吸循環系あるいは代謝系に及ぼす効果に関する所見が必ずしも明らかにされてはいない[61]。そのため，酸素摂取応答が持久的トレーニン

グによって変わるかどうかの知見も得られていない。

　そこで，本研究では8～12歳の一般児童と規則的な持久的トレーニングを行っている児童の$t_{1/2}\dot{V}O_2$を比較し，トレーニングを積んでいる児童の酸素摂取量の立ち上がり特性を明らかにすることを目的とした。

第2章　関連文献の考証

　運動開始時における酸素摂取量の応答は種々の要因に影響を受ける。しかし，児童についての研究が少ないため，成人についての研究結果を中心にそれぞれの要因に分けて考証を行う。

1．酸素摂取応答に影響を及ぼす外的因子

　運動開始時における酸素摂取応答に関する初めての研究はKroghとLindhard（1913）[32]によって行われた。彼らは男子6名に，300～2200 kpm/分での自転車エルゴメータ運動を行わせ，酸素摂取量は運動開始後漸増し，その増加の割合は運動強度が増すほど急激になることを見出した。その後，HillとLupton（1923）[26]は一人のランナーに，181，203および267 m/分の速度でのトラック走を行わせ，安静状態から定常状態に至るまでの酸素摂取応答を曲線で示し，$t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$はおよそ25秒であることを報告した。

　さらに，Henry（1951）[24]は運動を開始してから

定常状態に達するまでの酸素摂取量の経時的変化は次の指数関数式で表わせることを示した。

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_2(ss) \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$$

但し，$\dot{V}O_2(t)$ ： ある時間tにおける酸素摂取量 (ℓ/分)

$\dot{V}O_2(ss)$ ： 定常状態における酸素摂取量 (ℓ/分)

k ： 速度定数

t ： 時間 (分)

この結果をもとに，運動開始時における酸素摂取応答に関する初めての系統的研究が，Margaria ら(1965)[38]によって行われた。彼らは男子に，傾斜+5%，+8%および+15%による時速12 km，傾斜+13%および+18%による時速15 kmのそれぞれの条件のトレッドミル走を行わせ，酸素摂取応答を観察した。その結果，$t_{1/2}\dot{V}O_2$は強度に関係なく約30秒であり，応答の勾配は強度に比例して急峻になることを見出した。同様に，Cerretelli ら(1966)[10]は2人の男子に，傾斜+8%のトレッドミルで，時速3.2，4.9および6.8 kmの歩行を行わせ，$t_{1/2}\dot{V}O_2$は約30秒

であると報告した。

これらの研究は，いずれもダグラスバッグ法[26)30)38)]やスパイロメータ法[5)10)47)]によって酸素摂取量が測定されてきた。そのため，15秒間あるいは30秒間という比較的長い時間間隔のみの酸素摂取量しか求めることができなかった。しかし，1966年頃からガス分析器の応答速度の向上やコンピュータの導入により，一呼吸毎に酸素摂取量を測定するbreath-by-breath法が開発された[8)9)33)]。その結果，酸素摂取量を連続的に測定することが可能となり，短い時間間隔の中に重要な情報を含んでいる運動開始時における酸素摂取応答の研究には大変有力な手段となった。

Davies ら(1972)[16)]は2人の男子に，1)静止から5.3 km/時，+5%，2)静止から7.8 km/時，+8%および3) 1)の運動から2)の運動の3種類のトレッドミル歩行を行わせた。その結果，静止からの運動では $t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$ はどちらも約30秒であるが，3)の運動では17秒で，静止から運動を

行うよりも $t_{1/2}\dot{V}O_2$ は短いと報告した。これは定常状態に至るまでの酸素摂取量の増加分が静止からの運動においてより大きく，無酸素性代謝により依存するためであると述べた。

一方，Diamondら(1977)[17] は男子6人，女子1人に，1)静止から Anaerobic threshold[54] 以下の強度，2) 25Wから Anaerobic threshold 以下の強度および3)低い強度（40回転/分）から高い強度（80回転/分）へと強度を変化させた3種類の自転車エルゴメータ運動を行わせ，$t_{1/2}\dot{V}O_2$ は3種類の運動の間で差がみられないことを示した（1)，2)および3)はそれぞれ32，35および30秒）。

また，Pearce と Milhorn (1977)[44] は10人の男子に，1)静止から0，300，600および800 kpm/分および2)無負荷ペダリング（0 kp）から600 kpm/分の自転車エルゴメータ運動を行わせ，静止からよりも無負荷ペダリングからの運動の方が $t_{1/2}\dot{V}O_2$ は長いことを示した（27.5：37.5秒）。さらに，静止からの運動では，$t_{1/2}\dot{V}O_2$ は強度が強いほど長いことを報告した。Whipp

ら(1982)[59]は女子1人を含む6人の被験者に，静止から100Wおよび無負荷ペダリングから100Wの2種類の自転車エルゴメータ運動を行わせ，時定数は静止からの運動の方が短いことを示した（31.7：41.4秒）。これは静止からの運動の方が一回拍出量の増加がより急激であるためとした。

このように，主運動を始める前の状態が酸素摂取応答にどのような影響を及ぼすかについては一定した結果が示されていない。研究者によって主運動の強度，主運動前の運動の強度，エルゴメトリーがまちまちであるために結果に差が生じたのかもしれない。

主運動の強度が酸素摂取応答に及ぼす影響についてCraig(1972)[14]は，4人の男子に種々の強度のトレッドミル走を行わせ，強度が強くなる程酸素摂取量が定常状態に達する時間は遅延すると報告した。同様に，Whipp と Wasserman(1972)[58]は6人の男子に50，75，100，125，150および175Wの6種類の強度の自転車エルゴ

メータ運動を行わせ，$t_{1/2}\dot{V}O_2$ は25〜40秒の範囲で運動強度に比例して長くなることを示した。これは，強度が強くなる程無酸素性代謝に依存する割合が大きくなるためであると述べている。Gilbertら(1967)[20]，Basonら(1973)[7]およびPearceとMilhorn(1977)[44]も同様の報告をしている。

一方，Linnarson(1974)[34]は8人の男子学生に，自転車エルゴメータによる80，160および240Wの運動を行わせ，酸素摂取応答の時定数は約30秒であり，強度に関係ないと報告した。$t_{1/2}\dot{V}O_2$ が強度に依存しないというのは，Margariaら(1965)[38]が示したように，強度が強くなる程酸素摂取応答の勾配が急になるためと考えられる。

運動強度と $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の関係についてはこのように2種類の報告があり，この問題は未だに解決していない。

他に酸素摂取応答に影響する因子として，Basonら(1973)[7]は吸気の低酸素状態が $t_{1/2}\dot{V}O_2$ に差を生じさせると考えた。そして，8人の男子

に最大酸素摂取量（$\dot{V}O_2max$）の30，60および80%の強度の自転車エルゴメータ運動を平地および2286，3810 mの高度にsimulateした室内で行わせた。その結果，$t_{1/2}\dot{V}O_2$は高度に関係なく42〜65秒であると報告した。

Cerretelliら(1977)[11]は運動時の姿勢および主動筋が酸素摂取応答に影響するものと考え，4人の男子に自転車エルゴメータを使って座位および仰臥位において腕のみおよび脚のみの運動を行わせた。その結果，どちらの運動によっても$t_{1/2}\dot{V}O_2$は座位の方が短く（腕64：44秒，脚49：36秒および55：43秒），$t_{1/2}\dot{V}O_2$は心臓から主動筋までの垂直距離に依存することが示唆された。また，主動筋については，脚運動時の方が$t_{1/2}\dot{V}O_2$は短く（64：44〜58秒），その差の原因は腕運動ではクランクを「握る」ということによって末梢循環を機械的に妨害し，血液量が減少するためであると述べた。

以上のように，運動開始時における酸素摂取応答は種々の因子の影響を受けると考えら

れる。しかし，それぞれの因子がどの程度の割合で影響しているのかは明らかにされておらず，今後の課題とされている。

2．酸素摂取応答に影響を及ぼす内的因子

酸素摂取応答に影響を及ぼす外的因子に対する内的因子とは，呼吸循環系や代謝系の機能の各種の要因であり，これらはトレーニングによって変化する[1,43,53]。トレーニング効果に関する研究は横断的研究と縦断的研究に分けられる。

横断的研究に関しては，Weltman と Katch (1976)[56] は平均年齢22.5±2.1歳の男子を $\dot{V}O_2max$ の高い群（n=8，4.85±0.38 ℓ/分）と低い群（n=8，3.92±0.36 ℓ/分）に分け，720 kpm/分の自転車エルゴメータ運動を行ったときの酸素摂取応答を両群間で比較した。その結果，$\dot{V}O_2max$ の高い群の方が $t_{1/2}\dot{V}O_2$ は短い（34：40秒）と報告している。また，Hagberg ら(1978)[22] は大学クロスカントリーチームの鍛練者群（$\dot{V}O_2max$ 70.2 ml/kg·分）

と非鍛練者群（$\dot{V}O_2max$ 49.7 ml/kg・分）に対して25，33，40，50および70%$\dot{V}O_2max$，300，600，900および1200 kpm/分の9種類の強度の自転車エルゴメータ運動を行わせ，両群間で酸素摂取応答を比較した。その結果，すべての強度で鍛練者群の方が$t_{1/2}\dot{V}O_2$は短い傾向にあり，絶対強度ではその差は有意（$P<0.05$）であった。これはトレーニングによる循環系機能の向上や酸化酵素活性の上昇に起因するものであると述べている。

　また，矢野(1985)[60]は男子大学生の短・中および長距離選手に自転車エルゴメータによる数種類の最大下運動を行わせ，時定数は長距離選手において最も短いことを報告した（長距離：34.5±5.9秒，中距離：45.0±7.6秒，短距離：39.8±4.9秒）。

　一方，Cerretelliら(1979)[12]はトレーニング効果の特異性が運動開始時の酸素摂取応答に影響を及ぼすと考え，非鍛練者，カヤック選手，ランナーおよび水泳選手の酸素摂取応答を検

討した。腕運動によるカヤック選手と非鍛練者の比較では，$t_{1/2}\dot{V}O_2$ はカヤック選手の方が短く，また，ランナーと水泳選手における腕および脚の運動の場合，腕運動では水泳選手の方が短く（45：70秒），脚運動ではランナーの方が短かった（63：38秒）。そして，この差はトレーニングによって変化した末梢における酸素の受け渡し能力や筋線維タイプの差によるものであろうと述べた。

これらの研究結果は，持久的体力水準が高い者は運動開始時における酸素摂取応答がより速やかとなり，エネルギー需要に対する有酸素性代謝の調節をより速く行えることを示していると考えられる。しかし，持久的体力水準が高いことはトレーニングによるものなのか遺伝によるものなのかが明らかにされておらず，ここに横断的研究の限界がある。

縦断的研究では，Hickson ら(1978)[25]は7人の男子に6日/週，10週間のランニングおよび自転車エルゴメータによる持久的トレーニングを

行わせ，その前後で運動開始時における酸素摂取応答を比較した。運動強度はトレーニング前では，40，50，60および70 %$\dot{V}O_2max$に相当する強度，トレーニング後では，トレーニング前に行った強度およびトレーニング後に改めて測定した同一相対強度であった。その結果，$\dot{V}O_2max$は3.29 ℓ/分から4.53 ℓ/分へと増加し，$t_{1/2}\dot{V}O_2$は40および50 %$\dot{V}O_2max$の強度では同一絶対強度で，60および70 %$\dot{V}O_2max$の強度では同一の絶対および相対強度の両方でトレーニング後に短縮した。この原因はトレーニングによって酸化ミオグロビン含有量が増加したためであるとした。

Hagberg ら(1980)[23]は8人の被験者に，6日/週，9週間の自転車エルゴメータによるインターバル・トレーニングを行わせ，その前後で酸素摂取応答を比較した。トレーニング前では50および70 %$\dot{V}O_2max$の強度で，トレーニング後ではトレーニング前と同一の強度およびトレーニング後に改めて測定した同一相対強度に

よる自転車エルゴメータ運動を行わせて，酸素摂取応答を測定した。その結果，$\dot{V}O_2max$は3.18 ℓ/分から3.93 ℓ/分へと増加し，$t_{1/2}\dot{V}O_2$はすべての強度でトレーニング後の方が短くなったことを示した。これは心拍出量の応答が速くなったこと，あるいは血液からの酸素の利用能力が向上したことによるものと考えた。

これら2つの研究は主に脚が中心となるトレーニングによるものであったが，Cerretelliら(1979)[12]は横断的研究同様トレーニング効果の特異性を考えて，腕および脚のトレーニングを行ったときの酸素摂取応答の変化を検討した。12人の被験者に対して，最大負荷の45〜55％に相当する強度による腕クランキングおよび脚ペダリングを行わせ，そのときの酸素摂取応答を測定した。その後，被験者をコントロール群（4人），脚トレーニング群（4人）および腕トレーニング群（4人）に分けた。脚トレーニングはペダリング，腕トレーニングは腕クランキングのトレーニングであ

り，心拍数が約160拍/分となる強度における30分/日，5週間の25セッションであった。その結果，脚トレーニング群が脚運動，腕トレーニング群が腕運動をそれぞれ行ったときには，$t_{1/2}\dot{V}O_2$ はトレーニング後に短縮した。また，脚トレーニング群が腕運動，腕トレーニング群が脚運動をそれぞれ行ったときにも，$t_{1/2}\dot{V}O_2$ はトレーニング後短縮傾向を示した。その原因として，単位面積あたりの毛細血管数の増加，ミオグロビン濃度の増加，酸化酵素活性の上昇をあげている。

以上の研究により，持久的なトレーニングによって $t_{1/2}\dot{V}O_2$ が短縮することがわかる。この原因としては，トレーニングによる酸化酵素活性の上昇[53]，酸化ミオグロビン含有量の増加[43]および末梢循環の向上[1]が考えられている。しかし，これらのことはすべて成人での研究から得られた結果であり，これが児童に対してもあてはまるかどうかは研究されていない。児童では，成人と同じようにトレー

ニングを行っても$\dot{V}O_2max$は向上しないという報告があり[4,21]，また，成人と児童では運動に対する応答が異る[2,3]ということから，トレーニングによって成人と同様の適応が生じるとは限らない。したがって，運動開始時における児童の酸素摂取応答は成人とは異ることが考えられ，また，それは児童と成人の運動に対する適応機序の差を探ぐる重要な手掛りであることが示唆される。

3．年齢と酸素摂取応答

呼吸循環系の能力は思春期に急激に発達する[15,31,41]。したがって，成人と児童では運動に対する生体の応答は異る。青木と村岡(1981)[3]によれば，同一絶対強度の運動を行っても児童の方が心拍数および体重あたりの酸素摂取量は大きい。また，佐藤ら(1977)[51]は体重1kgあたり同一の負荷を思春期前，思春期，青年期および壮年期の被験者に課し，成人よりも児童の方が心拍数および呼吸数は多く，血圧は低

いことを示した。このように年齢によって運動に対する呼吸循環系の応答は異る。したがって，運動開始時における酸素摂取応答にも年齢による差があることが予想される。

Robinson(1938)[48)]は6～91歳の男子93人にトレッドミルによる一定負荷の最大運動を行わせ，そのときの酸素摂取応答を測定した。その結果，運動開始30秒後の運動中に達した酸素摂取量の最高値に対する割合は若年者の方が大きく，酸素摂取応答が速やかであると報告した。また，Freedsonら(1981)[19)]は発育に伴う$t_{1/2}\dot{V}O_2$の変化に着目した。彼らは7～14歳の男女(28人)に360 kpm/分の自転車エルゴメータ運動を行わせ，$t_{1/2}\dot{V}O_2$は平均34.8±12.7秒で，これは年齢と有意な正の相関($P<0.05$)があると報告した。

一方，Cooperら(1985)[13)]は7～10歳および15～18歳の男子にAnaerobic thresholdの75％の強度での自転車エルゴメータ運動を行わせ，酸素摂取応答の年齢差に注目した。その結果，時

定数は両群間に差がなかったことを示した（7～10歳 26.5±3.0秒，15～18歳 24.3±2.3秒）。

これらの研究は発育による運動開始時の酸素摂取応答の変化に関するものであるが，このような研究は数少なく，どの年齢から酸素摂取応答に差がみられるのかははっきりしていない。

Máček と Vávra (1980)[35] は定期的なスポーツ活動を行っている10～11歳の男子に最大負荷での自転車エルゴメータ運動を行わせ，このときの $t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$ は20秒以下で，それまでに報告されてきた成人の値よりも短いことを報告した。さらに，Máček と Vávra (1981)[36] は10～11歳および20～22歳の男子に最大負荷の90～100%の強度における自転車エルゴメータ運動を行わせ，このときの酸素摂取応答を比較した。その結果，運動開始30秒後の運動の最後における酸素摂取量に対する割合は児童の方が大きく（56.4：35.5%），児童の方が酸素摂取応答は急速であり，そのときの $t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$ は約15秒で

あると報告した。これらの結果より，Máček と Vávra (1980)[35] は，成人と児童の酸素摂取応答の差は児童の解糖系酵素（PFK）活性が低く，無酸素性代謝能力が低いことに起因するものであると述べた。

石河ら (1981)[28] は5および21歳の男子に40，60および80 %$\dot{V}O_2max$ の強度におけるトレッドミル走を行わせ，このときの酸素摂取応答を比較した。その結果，Máček と Vávra (1981)[36] の報告同様，運動開始30秒後までの酸素摂取量の変化は幼児の方が大きく（40，60および80 %$\dot{V}O_2max$ の強度においてそれぞれ69.1：42.7，50.7：34.1および51.7：38.6 %），同一相対強度での運動に対する無酸素性代謝の寄与は青年よりも幼児の方が小さいことが示唆された．Máček ら (1984)[37] は11～14歳および25～45歳の男子に2 W/kg（約60 %$\dot{V}O_2max$）の強度の自転車エルゴメータ運動を課したところ，若年者ほど $t_{1/2}\dot{V}O_2$ は短く，運動後の血中乳酸濃度と $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の間には正の相関（$r=0.69$ $P<0.01$）があることを示した。

また，Sady (1981)[49]は10.2±0.3歳および30.0±1.3歳の男子に110 %$\dot{V}O_2max$での自転車エルゴメータ運動を行わせ，そのときの酸素摂取応答を比較した。その結果，$t_{1/2}\dot{V}O_2$は児童の方が短いことを示し（平均±標準誤差17.2±0.7：28.5±1.3秒 $P<0.05$），その原因は身体の大きさや解糖系能力の差に起因するものであると述べている。

以上のように，児童は成人よりも$t_{1/2}\dot{V}O_2$が短く，この差は運動初期における乳酸産生に関わる機構と関係が深いと考えられる。すなわち，Eriksson (1972)[18]が報告したように，児童は成人よりも解糖系酵素活性が低いため，成人ほどには無酸素性代謝に依存することができないので，その分有酸素性代謝にたよらざるを得ない。その結果，$t_{1/2}\dot{V}O_2$が成人よりも短くなると考えられる。

しかし，以上のような大きく年齢の異る群での$t_{1/2}\dot{V}O_2$の比較では，何歳頃に変化が現われるのか明らかとはならない。したがって，比較的小さい年齢差における$t_{1/2}\dot{V}O_2$の比較が

必要であり，その解明は児童の酸素摂取応答の特徴を明確にするための重要な示唆を与えると思われる。

第3章 研究方法

1. 被験者

被験者は小学校第2（8.2±0.3歳），4（10.2±0.3歳）および6学年（12.1±0.5歳）の男子児童32名であった。そのうち各学年とも約半数ずつの計15名は週3日以上スイミングクラブに通って規則的に持久的トレーニングを続けていた（鍛練群）。残りは規則的な運動習慣は持っていないが，クラス担任がみて体育の成績が中程度であった（対照群）。

これらの被験者の保護者には，あらかじめ研究の目的および測定方法の概略を記載した依頼書を配布し承諾を得た。

各群ごとに学年別人数，年齢，身長，体重，最大酸素摂取量（$\dot{V}O_{2}max$）およびガス交換変量から

表1 量から求めたAnaerobic threshold（AT）[54]を表1に示した。なお，鍛練群については選手育成コースへ入って週3日以上のトレーニングを行うようになってからのトレーニング年数も付け加えた。

身長および体重は両群間に差はなく，同年齢の全国平均値[40)]とほぼ等しかった。

最大酸素摂取量は対照群では，8歳および10歳群は他の研究者が示した一般児童の値（平均値　43～51 ml/kg·分）[4)15)21)]とほぼ同様であった。しかし，12歳群の値は一般値よりもわずかに大きい値を示した。一方，鍛練群では，他の鍛練者について報告されている値[39)52)55)]とほぼ等しかった。

ATは両群とも年齢の増加に伴って減少する傾向にあったが，いずれの学年とも両群間に差はみられなかった。また，10および12歳群のATはReybroukら(1982)[45)]およびReybroukら(1985)[46)]が報告した範囲内にあったが，8歳群はやや大きい値を示した。

2．測定方法および手順

(1)．負荷漸増最大運動テスト

すべての被験者に対して，まず安静時の標準12誘導による心電図を記録し，心電図上に

異常がないことを確認した。

その後，自転車エルゴメータ（Monark社製子供用）による負荷漸増最大運動テストを行った。ペダル回転数は毎分60回とし，8歳は90 kpm/分，10歳は180 kpm/分および12歳は270 kpm/分で2分間こがせた後，各年齢とも1分毎に90 kpm/分ずつ漸増させて疲労困憊に至らせた。疲労困憊の判定は，験者の励ましにもかかわらずペダリングのリズムに合わせられない時とした。

採気はダグラスバッグ法により，原則として各負荷段階の後半30秒間で行った。ただし，疲労困憊の近くでは採気を連続した。

採集した呼気は直ちに湿式実験用ガスメータ（NWK-10A品川精器製）で計量し，その一部を酸素分析器（OM-11 Beckman）および医用ガス分析器（LB-2 Beckman）によってそれぞれ酸素および二酸化炭素濃度について分析した。なお，これらの分析器はあらかじめショランダー微量ガス分析器によって分析した既知濃度の標準ガスで各実験前に較正した。

このテストより得られた酸素摂取量が次のうち最低1つの条件を満たしたとき，それを最大酸素摂取量として採用した[42]。

1）心拍数が180拍/分以上

2）呼吸交換比が1.0以上

3）酸素摂取量がleveling offの状態にあった

(2). 酸素摂取応答測定のための一定負荷テスト

負荷漸増最大運動テストで得られた作業率－%$\dot{V}O_2max$関係より，各被験の50，80および100%$\dot{V}O_2max$に相当する負荷を求め，一定負荷運動の強度とした。

運動は一定負荷による自転車エルゴメータ運動であった（毎分60回転）．まず，無負荷ペダリングから始め，1分間経過した後に，直ちに所定の負荷に合わせ，5分間持続させた。

原則的には，測定は1日1回であった。し

かし，中には3回の測定を行った者もいた。その場合には，測定間に十分時間をとり，被験者の心拍数が第1回目の測定前の水準まで回復したことを確認した。負荷強度の順序は無作為であった。

酸素摂取量はBreath-by-breath法[33]によって測定した。酸素摂取量の時間経過にともなう変化は次の式で表わすことができる[24]。

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_2(ss) \cdot (1 - e^{-k \cdot t}) \quad \text{—} (1)$$

但し， $\dot{V}O_2(t)$ ：ある時間tでの酸素摂取量（ℓ/分）

$\dot{V}O_2(ss)$ ：定常状態での酸素摂取量（ℓ/分）

k ：速度定数

t ：時間（分）

この式に一定負荷運動で得られた一呼吸毎の酸素摂取量のデータを最小自乗法によって回帰させ，kおよび$\dot{V}O_2(ss)$を求めた。

$t_{1/2}\dot{V}O_2$は$\dot{V}O_2(t)$が$\dot{V}O_2(ss)$の1/2となった時点であるから，$t_{1/2}=T$として(1)式を次のように変形して求めた。

$$1/2\,\dot{V}O_2(ss) = \dot{V}O_2(ss) \cdot (1 - e^{-k \cdot T}) \quad \text{—} (2)$$

なお，実際の計算に当っては，(2)式を展開して

$$0.5 = 1 - e^{-k\cdot T}$$
$$e^{-k\cdot T} = 0.5$$
$$e^{k\cdot T} = 2$$
$$k\cdot T = \ln 2$$
$$k\cdot T = 0.693$$
$$T = 0.693/k$$

とし，$t_{1/2} = T$ であるから

$$t_{1/2}\dot{V}_{O_2}(分) = 0.693/k$$

とした。

この方法によって得られた $t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$ の再現性は±10%であった。

図1 Breath-by-breath法による測定で使用した測定のブロック・ダイアグラムを図1に示した。被験者は採気マスクを装着し，ニューモタコグラフ（MPF-1 日本光電製）を通して吸気した。ニューモタコグラフからの信号は差圧トランスジューサ（AP-621G 日本光電製）に導き，吸気の流速信号を得た。そして，それを積分

ユニット（EI-601G 日本光電製）にて積分させて吸気量を求めた。積分量は較正用シリンジ（1ℓ用に改良を加えた）を用いて得られた流速信号を積分することによって較正した。

吸気量（V_I）を呼気量（V_E）に換算するために以下の式を用いた。

$$V_{I(STPD)} = \left(\frac{P_B - P_{H_2O} \times RH/100}{760}\right) \cdot \left(\frac{273}{273+T}\right) \cdot V_{I(ATPS)}$$

$$V_{I(STPD)} \cdot (1 - F_{IO_2} - F_{ICO_2}) = V_{E(STPD)} \cdot (1 - F_{EO_2} - F_{ECO_2})$$

F_{IO_2} を 20.94％，F_{ICO_2} を 0.03％として

$$V_{E(STPD)}(\ell) = \frac{0.793 \cdot V_{I(STPD)}}{1 - F_{EO_2} - F_{ECO_2}}$$

但し，
P_B ： 大気圧（mmHg）
P_{H_2O} ： 飽和水蒸気圧（mmHg）
RH ： 相対湿度（％）
T ： 室温（℃）
F_{IO_2} ： 吸気の酸素濃度
F_{ICO_2} ： 吸気の二酸化炭素濃度
F_{EO_2} ： 呼気の酸素濃度
F_{ECO_2} ： 呼気の二酸化炭素濃度

一方，採気マスクから内径3.5 mmのナイロン製サンプルチューブを伸ばし，これを酸素分析器（OM-11 Beckman）および医用ガス分析器（LB-2 Beckman）に接続して酸素および二酸化炭素濃度の信号を得た（両分析器とも吸引速度は500 ml/分，90％応答は100 msec）。

このようにして得られた酸素および二酸化炭素濃度曲線より，酸素については極大値から極小値までを，二酸化炭素については極小値から極大値までを積算し，集積した総数で除すことによって酸素および二酸化炭素の一呼吸毎の平均濃度を求めた（図2）。

図2

なお，流速信号，積分値，酸素および二酸化炭素濃度はデータレコーダ（RTP-501A 共和電業製）に一旦記録した。一呼吸毎の酸素摂取量の計算は，データレコーダに記録したアナログ信号を33.3 HzでA/D変換し，パーソナル・コンピュータ（PC-8801 NEC）に読み込んで行った。

3．実験条件

本実験は昭和60年12月11日から同年12月29日に，順天堂大学運動生理学研究室の恒温室において行った。実験期間中の平均室温，相対湿度および気圧はそれぞれ20.0±0.2℃，56.4±10.2%および758.8±6.0mmHgであった。

第4章　研究結果

年齢別，運動強度別および鍛練度別に $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の平均値および標準偏差を表2に示した。平均値の小さかったものは鍛練群10歳の50%$\dot{V}O_2max$ の17.7±2.9秒および80%$\dot{V}O_2max$ の18.0±3.9秒であり，大きかったものは対照群8歳の50%$\dot{V}O_2max$ の33.7±9.7秒であった。その他はすべて20秒台であった。10歳の80%$\dot{V}O_2max$ では，鍛練群と対照群の間で統計的に有意な差がみられた（$P<0.05$）がその他では有意な差は認められなかった。

1、年齢と $t_{1/2}\dot{V}O_2$

8，10および12歳の被験者の $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の平均値は26.8±7.9，22.8±8.0および24.8±6.1秒であった。10歳群の値が最も小さく，年齢に伴う $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の変化に一定の傾向はみられなかった。強度別にみた年齢と $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の関係をみてもまた，10歳群が短い傾向を示したが，標準偏差が大きく，各年齢間には統計的に有意な差はみられなかった。

そこで，平均値から1標準偏差以上離れて
図3 いた値を除いた平均値を図3に示した。12歳
が最も長かったが，統計的に有意な差は認め
られなかった。同じように，強度別にみた年
図4 齢と $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の関係を図4に示した。50 $\%\dot{V}O_{2}max$
では8歳群が10歳群および12歳群よりも有意
に短い値を示した（それぞれ $p<0.05$ および
$p<0.001$）。しかし，他には有意な差はみられ
ず，年齢と $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の間には一定の傾向は認め
られなかった。

2．運動強度と $t_{1/2}\dot{V}O_2$

50，80および100 $\%\dot{V}O_{2}max$ における $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の
平均値は26.0±9.6，24.7±5.9および23.6±6.7であっ
た。各強度間に統計的に有意な差は認められ
なかった。また，前述のように大きく逸脱し
図5 た値を除いた平均値を図5に示した。50，80
および100 $\%\dot{V}O_{2}max$ においてそれぞれ23.0±6.4，
24.5±5.7および22.6±5.0秒であり，ここでも運動
強度に依存する $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の一定の変化傾向はみ

られなかった。

3．トレーニングと$t_{1/2}\dot{V}O_2$

鍛練群と対照群の$t_{1/2}\dot{V}O_2$の平均値を比較したものを図6に示した。それぞれの群の値は21.9±5.4および27.3±8.3秒であり，鍛練群の方が有意に短かった（$P<0.001$）。また，運動強度別および年齢別に示したものが図7である。いずれの場合においても，$t_{1/2}\dot{V}O_2$は鍛練群の方が短い傾向にあり，10歳の80%$\dot{V}O_2max$においては，その差は有意であった（$P<0.05$）。

図6 図7

4．最大酸素摂取量と$t_{1/2}\dot{V}O_2$

年齢を無視して，強度別に最大酸素摂取量に対して$t_{1/2}\dot{V}O_2$をプロットすると（図8，9および10），いずれの強度においても，比例関係が得られた。50%$\dot{V}O_2max$のときの回帰直線は$Y=53.16-0.52X$（$r=-0.444$），80%$\dot{V}O_2max$は$Y=4200-0.33X$（$r=-0.463$）および100%$\dot{V}O_2max$は$Y=49.07-0.49X$（$r=-0.602$）であった。これらの相関係数

図8 図9 図10

は統計的に有意であり（それぞれ $p<0.05$，$p<0.01$ および $p<0.01$），運動強度が強くなるほど大きくなった。

第5章　考　察

1．発育期における $t_{1/2}\dot{V}O_2$

全被験者の平均値でみると，10歳群が $t_{1/2}\dot{V}O_2$ は最も短い傾向を示し，年齢の増加に伴って $t_{1/2}\dot{V}O_2$ が遅延するという関係はみられなかった（表2）。これは被験者の年齢が8，10および12歳の3群であり，比較的年齢範囲が狭かったためと思われる。また，極端に平均値から逸脱した値を除いても，年齢と $t_{1/2}\dot{V}O_2$ の間には，一定の関係は認められなかった（図3および4）。このことは，$t_{1/2}\dot{V}O_2$ は年齢に依存しないことを示したCooperら(1985)[13]の報告と一致していた。

表2

図3

図4

50％$\dot{V}O_2max$ の強度においては，鍛練群の8歳および対照群の10歳の標準偏差はそれぞれ平均値の29.1％および46.9％と大きかった。これは児童の運動に対する応答の不安定さを示しているように思える。すなわち，弱い強度の運動では，自己の意志で呼吸数や呼吸の深さを容易に変えることができるので，このこ

とが$t_{1/2}\dot{V}O_2$に影響したと考えられる。実際，若年児童ほど呼吸パターンが不規則であった。したがって，このような不規則な呼吸が標準偏差を大きくした原因の1つとなっていると思われる。また，このことは児童の運動に対する呼吸循環系の応答を測定したとき，得られた値を検討する際の重要な注意事項になると考えられる。

Máček と Vávra (1980)[35]，Freedson ら(1981)[19]，石河ら(1981)[28] および Máček ら(1984)[37] は年齢の高い者の方が$t_{1/2}\dot{V}O_2$が長いと述べている。これは無酸素性能力の発達と関係が深いものと考えられている。すなわち，若年者ほど無酸素性能力が低く，有酸素性代謝への依存度が大きいため，$t_{1/2}\dot{V}O_2$が短いと考えられる。

しかし，Bar-Or (1983)[6] が無酸素性能力は発育に伴って急激ではなくわずかずつ発達することを示したことから，本研究は2年間隔という比較的狭い年齢範囲の被験者を用いたため，一定の傾向がみられなかったと思われる。ま

た，Cooper ら(1985)[13]が正常の発育過程では，発育に伴う運動開始時における酸素摂取応答の変化は小さいものであると述べていることからも，$t_{1/2}\dot{V}O_2$の年齢に伴う変化を観察するためには，さらに広い年齢範囲の被験者を用いた研究が必要とされる。

運動強度についてみると，50，80および100 %$\dot{V}O_2max$における$t_{1/2}\dot{V}O_2$はそれぞれ23.0±6.4，24.5±5.7および22.6±5.0秒であり，強度に依存する一義的な変化は認められず，ほぼ一定の値を示した（図5）。このことはMargaria ら(1965)[38]およびCerretelli ら(1966)[10]の成人における報告と一致していた。Margaria ら(1965)[38]の研究によれば，$t_{1/2}\dot{V}O_2$は運動強度に関係なく約30秒である。すなわち，運動強度が強くなるにつれて酸素摂取量の増加がより急激になることを意味している。

一方，Craig (1972)[14]やPearce とMilhorn (1977)[44]は，運動強度が強いほど$t_{1/2}\dot{V}O_2$が長くなることを報告している。これは運動に要する全体の工

ネルギー需要に対する無酸素性過程への依存の割合が大きくなるためだと考えられる。したがって，Anaerobic thresholdを越えない強度では $t_{1/2}\dot{V}O_2$ は強度に影響を受けない[57]が，Anaerobic thresholdを越える強度では $t_{1/2}\dot{V}O_2$ と強度の間に一義的な関係がある[58]という報告もなされている。

本研究の被験者の最大酸素摂取量に対する割合で表わしたAnaerobic thresholdはおよそ69～82%$\dot{V}O_2max$と高く，これまでに示されてきた児童のAnaerobic thresholdは成人よりも高いという報告と一致していた[29,45,46,52]。したがって，本研究の各強度間で $t_{1/2}\dot{V}O_2$ に差がみられなかったのは，児童ではたとえAnaerobic thresholdを越えた水準の運動を行っても，有酸素性代謝に依存する割合が成人よりも大きいためと考えられる。

例えば，Máček と Vávra (1981)[36]は10～11歳の男児に最大負荷での自転車エルゴメータ運動を行わせ，運動開始90秒に全体のエネルギー

需要量の中で有酸素性過程の占める割合は86%であったとしている。そして，これはEriksson (1972)[18]が報告したように，児童では解糖系の酵素活性が低いため，成人と同じようには無酸素性代謝に依存することができなかったことによるものと考えられる。また，このことは児童のAnaerobic thresholdが高いということの背景となっている。

2．発育期における持久的トレーニングと $t_{1/2}\dot{V}O_2$

図6

図7

鍛練群（8〜12歳）の $t_{1/2}\dot{V}O_2$（13.0〜34.8秒，平均21.9±5.4秒）は対照群のそれ（11.9〜51.9秒，平均27.3±8.3秒）よりも有意に短かった（$P<0.001$）（図6）。また，強度別，年齢別にみても，$t_{1/2}\dot{V}O_2$ は鍛練群の方が短い傾向にあり，10歳の80%$\dot{V}O_2max$ においては，その差は有意であった（$P<0.05$）（図7）。この結果はHagbergら(1978)[22]および矢野(1985)[60]の成人における報告と一致していた。

対照群と鍛練群を別々にみると，対照群の $t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$ はCooperら(1985)[13]（8.4±0.8歳，18.4±2.0秒）およびFreedsonら(1981)[19]（10.2±2.3歳，34.8±12.7秒）の報告した値とほぼ類似していた。鍛練群については，他に児童の鍛練者を扱った研究はみられないので比較はできない。

成人では，Hagbergら(1978)[22]および矢野(1985)[60]が報告したように，持久的トレーニングを積んだ者の方が $t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$ は短いといわれている。これは，鍛練者の方がエネルギー需要に対する有酸素性代謝の調節をより速く行えるということを示している。この原因として，トレーニングによる酸化酵素活性の上昇[53]，酸化ミオグロビン含有量の増加[43]および末梢循環の向上[1]が考えられている。

本研究における鍛練群のより短い $t_{1/2}\dot{V}_{O_2}$ は次のような理由によるものと考えられる。すなわち，酸素摂取量は心拍数，一回拍出量および動静脈血酸素較差の積として表わされるが，本研究の被験者においては，心拍数の $t_{1/2}$

表3 に両群間で差が認められなかった（表3）。したがって，一回拍出量および動静脈血酸素較差のどちらか一方，あるいは両方の応答速度の差が鍛練群の短い$t_{1/2}\dot{V}O_2$に原因しているものと思われる。そして，児童についてEriksson(1972)[18]は持久的トレーニングによって酸化酵素活性が上昇することを報告していることから，動静脈血酸素較差の応答速度に鍛練群と対照群で差があることが推察され，これが$t_{1/2}\dot{V}O_2$の差の大きな要因となっていると思われる。

　しかし，全体でみると鍛練群と対照群に有
図6 意な差がみられたが（図6），強度別，年齢別にみると，鍛練群の方が$t_{1/2}\dot{V}O_2$は短い傾向にあったものの，有意な差は10歳の80%$\dot{V}O_2max$
図7 の場合だけであった（図7）。

　この原因の1つとして標準偏差が大きいということが考えられる。この標準偏差が大きいのは，児童の不規則な呼吸パターンがニューモタコグラフでの換気量の測定値や酸素および二酸化炭素濃度の測定値に大きな誤差を

もたらしたといった測定上の問題点が原因となっているのか，あるいは児童の運動に対する応答の特徴によるものかは明らかではない。しかし，他の研究者たちが報告した値（およそ3～13秒）からも，児童の$t_{1/2}\dot{V}O_2$の変動性は大きいものであることがわかる。

また，トレーニング効果の特異性も考えられる。これは，本研究の鍛練群児童はすべて水泳トレーニングを行っている者であったためである。水泳は仰臥位または伏臥位の姿勢で行うものであり，自転車運動のような垂直姿勢での運動とは血液動力学的にみて，呼吸循環系の応答は異る。日頃水平姿勢でトレーニングを行っている者が，本研究での自転車エルゴメータ運動で，トレーニングにより変化した運動に対する呼吸循環系の応答を十分に示したかどうかは明らかではない。同様のことは，成人についてCerretelliら(1979)[12]も報告している。

4. 最大酸素摂取量と$t_{1/2}\dot{V}O_2$の関係

図8
図9
図10

本研究の被験者においては，50，80および100 %$\dot{V}O_2max$のいずれの強度においても，最大酸素摂取量と$t_{1/2}\dot{V}O_2$の間には有意な負の相関が認められた（それぞれ$r=-0.444$ $P<0.05$，$r=-0.463$ $P<0.01$および$r=-0.602$ $P<0.01$）（図8，9および10）。これは，8歳および17歳の男女（$n=20$）についてAnaerobic thresholdの75%の強度の運動で$t_{1/2}\dot{V}O_2$を測定し，最大酸素摂取量との間に有意な負の相関（$r=-0.60$ $P<0.01$）を認めたCooperら(1985)[13]の報告と一致している。

図11〜13をみると，鍛練群のプロットが右側に集まっている傾向にあることがわかる。しかし，鍛練群でも最大酸素摂取量の小さい者や対照群でも最大酸素摂取量の大きな者がいて，鍛練群と対照群のプロットが交錯していた。そのために，群の平均値でみると$t_{1/2}\dot{V}O_2$に明確な差がみられなかったものと思われる。したがって，鍛練群と対照群の最大酸素摂取量がより明らかに2つに分かれていれば，さらに明確な$t_{1/2}\dot{V}O_2$の差がみられると思われる。

第6章　結　論

8～12歳の男子児童においても，成人と同様に，持久的トレーニングによって，最大酸素摂取量の増大に伴って運動開始時における酸素摂取量の1/2応答時間が短くなることが示唆された。

第7章　要約

1. 規則的に持久的トレーニングを行っている児童の運動開始時における酸素摂取応答の特徴を明らかにすることを目的に，水泳トレーニングを行っている児童（鍛練群：8歳5人，10歳5人および12歳5人；平均最大酸素摂取量 57.6±5.6 ml/kg・分）と一般児童（対照群：同じく6人，6人および5人；47.3±7.0 ml/kg・分）の酸素摂取量の1/2応答時間（$t_{1/2}\dot{V}o_2$）を比較した。
2. 最大酸素摂取量（$\dot{V}o_2max$）の50，80および100％に相当する強度での自転車エルゴメータによる5分間の一定負荷運動に対する酸素摂取量をbreath-by-breath法により測定した。
3. 年齢別にみると，8，10および12歳において $t_{1/2}\dot{V}o_2$ はそれぞれ23.6±4.9，21.8±5.7および24.8±6.1秒であり，$t_{1/2}\dot{V}o_2$ に年齢の増加に伴う変化はみられなかった。
4. 運動強度別にみると，$t_{1/2}\dot{V}o_2$ は50，80お

よび100 $\%\dot{V}O_2max$においてそれぞれ23.0 ± 6.4，24.5 ± 5.7および22.6 ± 5.0秒であり，強度に依存する$t_{1/2}\dot{V}O_2$の変化は認められなかった。

5．鍛練度別にみると，$t_{1/2}\dot{V}O_2$は鍛練群では21.9 ± 5.4秒，対照群では27.3 ± 8.3秒であり，鍛練群の方が有意に短かった（$p<0.001$）。

6．$t_{1/2}\dot{V}O_2$はいずれの強度においても最大酸素摂取量と有意な負の相関を示した（50，80および100 $\%\dot{V}O_2max$でそれぞれ$p<0.05$，$p<0.01$および$p<0.01$）。

7．以上の結果より，8～12歳の男子児童でも，成人と同様に，持久的トレーニングによって最大酸素摂取量が増大し，$t_{1/2}\dot{V}O_2$が短くなる傾向にあることが示唆された。

文献

1) Andersen,P. and J.Henriksson:Capillary supply of the quadriceps muscle of man:adaptive response to exercise.J. Physiol.270:677-690(1977)

2) Åstrand,P.-O.:Experimantal Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age.Ejnar Munsksgaard: Copenhagen(1952)

3) 青木純一郎，村岡 功：同一ランニング・スピードに対する男子の子どもと大人の呼吸循環応答の比較．体育の科学 31：271-277(1981)

4) 青木純一郎，吉田博幸，高岡郁夫：思春期前児童（8歳）に対する持久性トレーニングの効果．昭和59年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告 No.Ⅳ 思春期前のトレナビリティに関する研究（第1報）：4-20(1985)

5) Barman,J.M.,F.Consolazio and M.F.Moreira:Relation between pulmonary ventilation and oxygen consumption after exercise.Am.J.Phsyiol. 138:16-19(1942)

6) Bar-Or,O.:Pediatric Sports Medicine for the Practitioner. Springer-Verlag:Berlin(1983)

7) Bason,R.,C.E.Billings,E.L.Fox and R.Gerke:Oxygen kinetics for constant work loads at various altitudes.J.Appl. Physiol. 35:497-500(1973)

8) Beaver,W.L.,K.Wasserman and B.J.Whipp:On-line computer analysis and breath-by-breath graphical display of exercise function tests.J.Appl.Physiol. 34:128-132(1973)

9) Beaver,W.L.,M.Lamarra and K.Wasserman:Breath-by-breath measurement of true alveolar gas exchange.J.Appl.Physiol. 51:1662-1675(1981)

10) Cerretelli,P.,R.Sikand and L.E.Farhi:Readjustment in cardiac output and gas exchange during onset of exercise and recovery.J.Appl.Physiol. 21:1345-1350(1966)

11) Cerretelli,P.,D.Shindell,D.P.Pendergast,P.E.diPrampero and D.W.Rennie:Oxygen uptake transients at the onset and offset of arm and leg work.Respiration Physiol. 30:81-97 (1977)

12) Cerretelli,P.,D.Pendergast,W.C.Paganelli and W.Rennie: Effects of specific muscle training on V_{O_2} on-response and early blood lactate.J.Appl.Physiol. 47:761-769(1979)

13) Cooper,D.M.,C.Berry,N.Lamarra and K.Wasserman:Kinetics of oxygen uptake and heart rate at onset of exercise in children.J.Appl.Physiol. 59:211-217(1985)

14) Craig,F.N.:Oxygen uptake at the beginning of work.J.Appl. Physiol. 33:611-615(1972)

15) Cunningham,D.A.,D.H.Paterson,C.J.R.Blimkie and A.P.Donner: Development of cardiorespiratory function in circumpubertal boys:a longitudinal study.J.Appl.Physiol. 56: 302-307(1984)

16) Davies,C.T.M.,P.E.diPrampero and P.Cerretelli:Kinetics of cardiac output and respiratory gas exchange during exercise and recovery.J.Appl.Physiol. 32:618-625(1972)

17) Diamond,L.B.,R.Casaburi,K.Wasserman and B.J.Whipp: Kinetics of gas exchange and ventilation in transitions from rest to prior exercise.J.Appl.Physiol. 43:704-708 (1977)

18) Eriksson,B.O.:Physical training,oxygen supply and muscle metabolism in 11-13-year old boys.Acta Physiol.Scand. Suppl. 384:(1972)

19) Freedson,P.S.,T.B.Gilliam,S.P.Sady and K.L.Katch: Transient $\dot{V}O_2$ characteristics in children at the onset of steady-rate exercise.Res.Quart. 52:167-173(1981)

20) Gilbert,R.,J.H.Auchincloss and G,H,Baule:Metabolic and circulatory adjustments to unsteady-state exercise.J. Appl.Physiol. 22:905-912(1967)

21) Gilliam,T.B. and P.S.Freedson:Effects of a 12-week school physical fitness program on peak $\dot{V}O_2$,body composition and blood lipids in 7 to 9 year old children.Int.J.Sports Med. 1:73-78(1980)

22) Hagberg,J.M.,F.J.Nagle and L.J.Carlson:Transient O_2 uptake response at the onset of exercise.J.Appl.Physiol. 44:90-92(1978)

23) Hagberg,J.M.,R.C.Hickson,A.A.Ehsani and J.O.Holloszy: Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state.J.Appl.Physiol. 48:218-214 (1980)

24) Henry,F.M.:Aerobic oxygen consumption and alactic debt in muscular work.J.Appl.Physiol. 3:427-438(1951)

25) Hickson,R.C.,H.A.Bomze and J.O.Holloszy:Faster adjustment of O_2 uptake to the energy requirement of exercise in the trained state.J.Appl.Physiol. 44:877-881(1978)

26) Hill,A.V. and H.Lupton:Muscular exercise,lactic acid,and the supply and utilization of oxygen.Quart.J.Med. 16: 135-171(1923)

27) Ikai,M. and K.Kitagawa:Maximum oxygen uptake of Japanese related to sex and age.Med.Sci.Sports 4:127-131(1972)

28) 石河利寛,形本静夫,村岡 功:幼児の運動開始時における酸素摂取量および心拍応答の特徴.体育の科学 31:260-264(1981)

29) 石河利寛,村岡 功,吉田敬義:換気応答から見た幼児のanaerobic thresholdとthreshold of decompensated metabolic acidosis.体育科学 12:141-147 (1984)

30) Knuttgen,H.G.:Oxygen uptake and pulse rate while running with undetermined and determined stride length at different speeds.Acta Physiol.Scand. 52:366-371(1961)

31) Kobayashi,K.,K.Kitamura,M.Miura,H.Sodeyama,Y.Murase, M.Miyashita and H.Matsui:Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys:a longitudinal study. J.Appl.Physiol.44:666-672(1978)

32) Krogh,A. and J.Lindhard:The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. J.Physiol. 47:112-136(1913)

33) Lambersen,C. and R.Gelfand:Breath-by-breath measurement of respiratory functions:instrumentation and applications. J.Appl.Physiol. 21:282-290(1966)

34) Linnarson,D.:Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate change at start and end of exercise.Acta Physiol.Scand.Suppl. 415:(1974)

35) Máček,M. and J.Vávra:The adjustment of oxygen uptake at the onset of exercise:a comparison between prepubertal boys and young adults.Int.J.Sports Med. 1:70-72(1980)

36) Máček,M. and J.Vávra:Oxygen uptake and heart rate with transition from rest to maximal exercise in prepubertal boys.In:Eriksson,B.O. and K.Berg(eds.) Children and Exercise IX.pp.64-68,University Park Press:Baltimore (1981)

37) Máček,M.,J.Vávra,H.Benesová and J.Radvanský:The adjustment of oxygen uptake at the onset of exercise:relation to age and to work load.In:Ilmarinen,J. and I.Valimaki (eds.)Children and Sport.pp.129-134,Springer-Verlag:Berlin (1984)

38) Margaria,R.,F.Mangili,F.Cuttica and P.Cerretelli:The kinetics of the oxygen consumption at the onset of muscular exercise in man.Ergonomics 8:49-54(1965)

39) Mayers,N. and B.Gutin:Physiological characteristics of elite prepubertal cross-country runners.Med.Sci.Sports 11:172-176(1979)

40) 文部省体育局：昭和59年度 体力·運動能力調査報告書：(1985)

41) Nakagawa,A. and T.Ishiko:Assessment of aerobic capacity with special reference to sex and age of junior and senior highschool students in Japan.Jpn.J.Physiol. 20: 118-129(1970)

42) 大柿哲朗：$\dot{V}_{O_2}max$の判定規準．体育の科学 27：360-364(1977)

43) Pattergale,P.K. and J.O.Holloszy:Augmentation of skeletal muscle myoglobin by a program of treadmill running. Am.J.Physiol. 213:783-785(1967)

44) Pearce,D.H. and H.T.Milhorn:Dynamic and steady-state respiratory responses to bicycle exercise.J.Appl.Physiol. 42:959-967 (1977)

45) Reybrouck,T.,M.Weymans,J.Ghesquiere,D.V.Gerven and H. Stijns:Ventilatory threshold during treadmill exercise in kindergarten children.Eur.J.Appl.Physiol. 50:79-86(1982)

46) Reybrouck,T.,M.Weymans,H.Stijns,J.Knops and L. van der Hauwart:Ventilatory anaerobic threshold in healthy children.Eur.J.Appl.Physiol. 54:278-284(1985)

47) Richardson,M.:Effect of respiration on the energy expenditure of woman performing selected activities.J.Appl. Physiol. 20:1312-1318(1965)

48) Robinson,S.:Experimental studies of physical fitness in relation to age.Arbeitsphysiol. 10:251-323(1938)

49) Sady,S.P.:Transient oxygen uptake and heart rate responses at the onset of relative endurance exercise in prepubertal boys and adult men.Int.J.Sports Med. 2: 240-244(1981)

50) Sady,S.P.,V.L.Katch,J.F.Villanacci and T.B.Gilliam: Children-adult comparisons of $\dot{V}o_2$ and HR kinetics during submaximal exercise.Res.Quart. 54:55-59(1983)

51) 佐藤 佑,石河利寛,青木純一郎,清水達雄,前嶋 孝:運動に対する心拍数,血圧,呼吸数の反応の年齢別,性別特性に関する研究.体力科学 26:165-176(1977)

52) Sprynarova,S.,J.Parizkova and I.Jurinova:Development of the functional capacity and body composition of boy and girl swimmers aged 12-15 years.In:Borms,J. and M.Ebbelinck(eds.)Medicine and Sport Vol.11.pp.32-38, Karger:Basel(1978)

53) Varnauskas,E.,P.Bjorntorp,M.Fahlen,I.Prerovsky and J. Stenberg:Effects of physical training on exercise blood flow and enzymatic activity in skeletal muscle. Cardiovascular Res. 4:418-422(1970)

54) Wasserman,K.,B.J.Whipp,S.N.Koyal and W.L.Beaver:Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J.Appl.Physiol. 35:236-243(1973)

55) Wells,C.L.,E.W.Scrutton,L.D.Archibald,W.P.Cooke and J.W.De La Mothe:Physical working capacity and maximal oxygen uptake of teenaged athletes.Med.Sci.Sports 5:232-238(1973)

56) Weltman, A. and V. Katch: Min-by-min respiratory exchange and oxygen uptake kinetics during steady state exercise in subjects of high and low max $\dot{V}O_2$. Res. Quart. 47:490-498 (1976)

57) Whipp, B.J.: Rate constant for the kinetics of oxygen uptake during light exercise. J. Appl. Physiol. 30:261-263 (1971)

58) Whipp, B.J. and K. Wasserman: Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. J. Appl. Physiol. 33:351-356 (1972)

59) Whipp, B.J., S.A. Ward, N. Lamarra, J.A. Davis and K. Wasserman: Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. J. Appl. Physiol. 52:1506-1513 (1982)

60) 矢野徳郎：長・中・短距走者の無気的作業閾値，酸素債および酸素摂取量の反応時間．体力科学 34：176-182 (1985)

61) 吉田敬義：幼少年とトレーニング．宮村実晴，矢部京之助編 体力トレーニング．pp.255-271，真興交易医書出版部：東京 (1986)

Kinetics of oxygen intake at onset of constant-load work in trained boys

Hiroyuki YOSHIDA

1. The purpose of the present study was to investigate the kinetics of oxygen intake at onset of exercise in 8-12-year-old trained boys.
2. Subjects were 15 trained swimmers(8yr n=5,10yr n=5 and 12yr n=5;average $\dot{V}o_2$max 57.6±5.6 ml/kg·min) and 17 untrained boys(n=6,n=6 and n=5;47.3±7.0 ml/kg·min,respectively).
3. Each subject performed 5 minutes constant-load work at 50,80 and 100%Vo_2max on a bicycle ergometer. Oxygen intake was measured by means of breath-by-breath technique. Regression equation of the transient $\dot{V}o_2$ response was determined by the least-squares method,then half time($t_{1/2}\dot{V}o_2$) being calculated.
4. The $t_{1/2}\dot{V}o_2$ was not change in 8-12-year-old(8yr 23.6±4.9, 10yr 21.8±5.7 and 12yr 24.8±6.1 sec).
5. The $t_{1/2}\dot{V}o_2$ at 50,80 and 100%$\dot{V}o_2$max,being independent of work intensity,was 23.0±6.4,24.5±5.7 and 22.6±5.0 sec, respectively.
6. The $t_{1/2}\dot{V}o_2$ in trained group(21.9±5.4 sec) was significantly shoter than untrained group(27.3±8.3 sec)($p<0.001$).
7. Negative correlation between $\dot{V}o_2$max and $t_{1/2}\dot{V}o_2$ at 50,80 and 100%$\dot{V}o_2$max were significant($p<0.05$,$p<0.01$ and $p<0.01$, respectively).
8. From the above results,it was suggested that $t_{1/2}\dot{V}o_2$ would decrease following endurance training in 8-12-year-old boys as well as adults.

Table 1. Characteristics of the subjects.

Grade	n	Age years	Stature cm	Weight kg	$\dot{V}o_2max$[a] ml/kg·min	AT[b] $\%\dot{V}o_2max$	Career years
Trained							
2nd	5	8.3 ± 0.3	126.2 ± 3.3	25.6 ± 1.2	56.3*** ± 2.3	81.5 ± 3.9	1.5 ±0.3
4th	5	10.1 ± 0.3	137.0 ± 3.0	30.9 ± 3.3	59.9** ± 2.4	74.4 ± 8.2	2.2 ±0.9
6th	5	12.3 ± 0.2	152.4 ± 6.5	44.5 ± 7.7	56.6 ± 8.6	69.2 ± 6.7	1.4 ±0.3
Control							
2nd	6	8.0 ± 0.3	122.6 ± 4.2	24.7 ± 4.2	41.7 ± 4.6	81.7 ± 1.6	
4th	6	10.4 ± 0.3	134.4 ± 2.6	29.9 ± 4.2	46.7 ± 5.8	75.3 ± 4.9	
6th	5	12.2 ± 0.4	144.7 ± 5.0	34.3 ± 4.9	54.7 ± 2.7	69.7 ± 2.0	

(Mean±SD)

a:Maximal oxygen intake b:Anaerobic threshold

**:$p<0.01$ ***:$p<0.001$ Significant difference between trained and control group.

△:$p<0.05$ △△△:$p<0.001$ Significant difference between grades.

Table 2. $t_{1/2}\dot{V}o_2$ in trained and control subjects.

Age years	n	$50\%\dot{V}o_2max$ sec	$80\%\dot{V}o_2max$ sec	$100\%\dot{V}o_2max$ sec
Trained				
8	5	24.4 ± 7.1	24.8 ± 2.8	21.4 ± 4.9
10	5	17.7 ± 2.9	18.0* ± 3.9	20.0 ± 2.6
12	5	25.4 ± 6.8	23.2 ± 4.6	22.2 ± 4.4
Control				
8	6	33.7 ± 9.7	25.8 ± 4.9	28.9 ± 8.3
10	6	27.1 ±12.7	28.0 ± 6.1	24.0 ± 6.2
12	5	26.1 ± 5.8	27.9 ± 5.6	23.9 ± 7.2

(Mean±SD)

*: $p<0.05$ Significant difference between trained and control group.

Table 3. $t_{1/2}$ HR in trained and control subjects.

Age years	n	50%$\dot{V}o_2$max sec	80%$\dot{V}o_2$max sec	100%$\dot{V}o_2$max sec
Trained				
8	5	14.3 ± 4.1	16.3 ± 2.9	16.5 ± 3.5
10	5	14.4 ± 4.6	15.5 ± 6.3	16.9 ± 6.8
12	5	19.5 ± 3.1	18.7 ± 2.8	15.1 ± 4.3
Control				
8	6	13.6 ± 5.6	19.4 ± 7.8	19.1 ± 5.1
10	6	16.9 ± 6.3	14.2 ± 4.5	24.3 ± 8.3
12	5	18.7 ± 4.3	15.0 ± 1.8	16.2 ± 5.4

(Mean±SD)

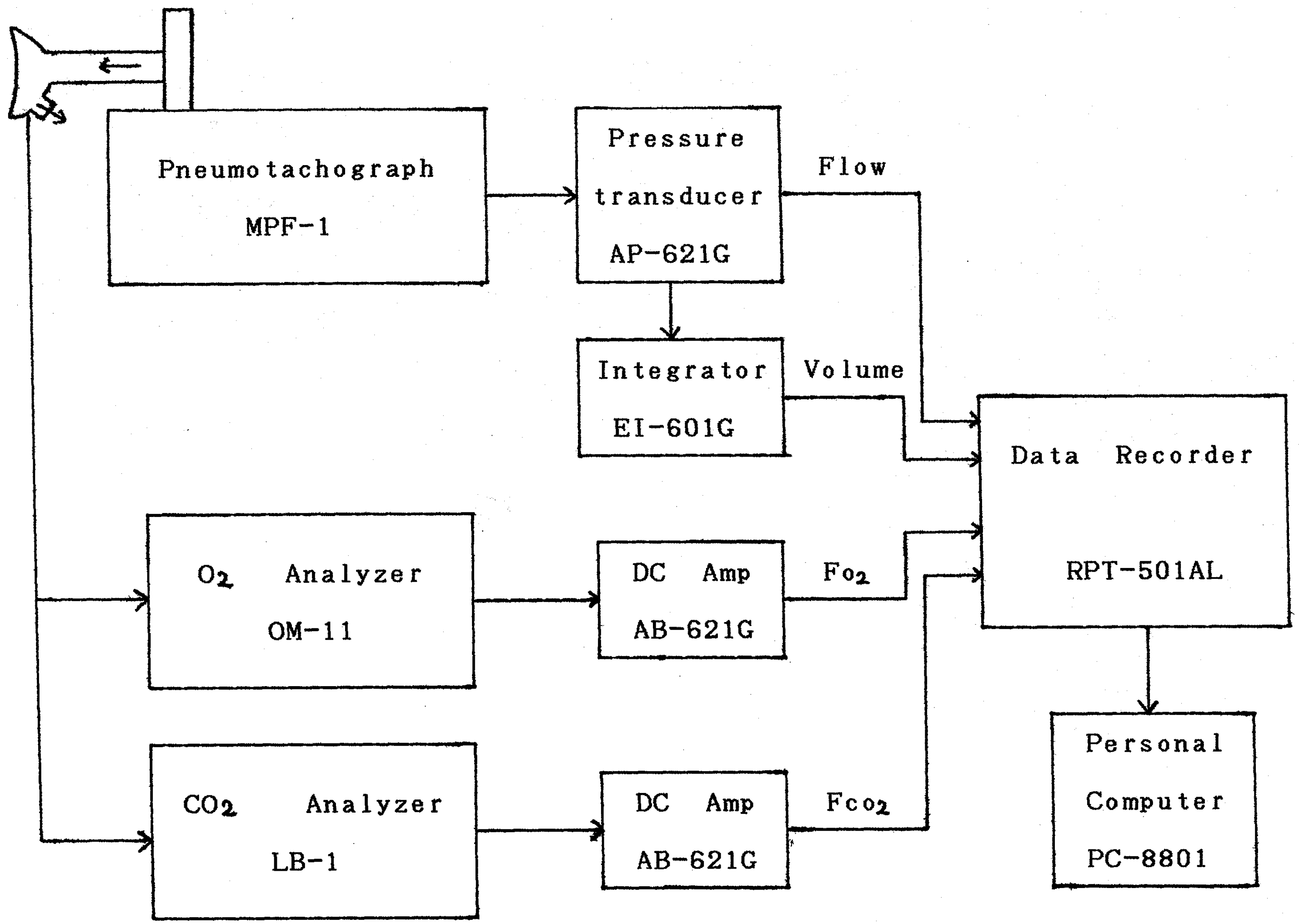

Fig. 1. Schematic diagram of measurement.

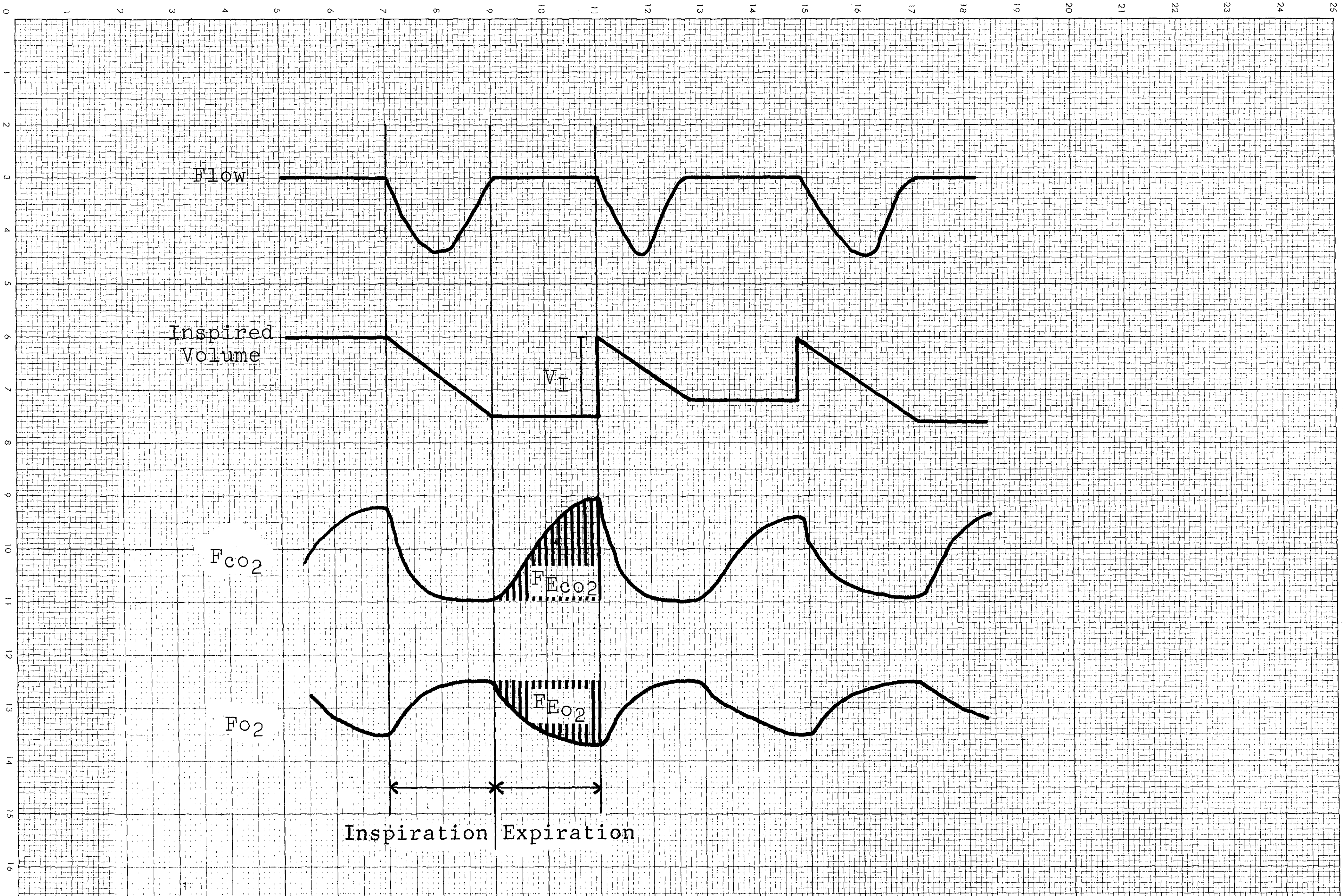

Fig. 2. Analog Signals of breath-by-breath method.

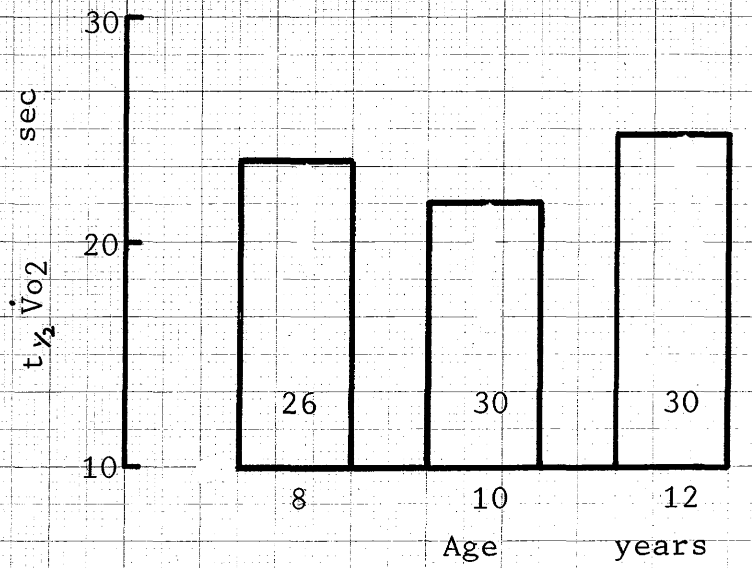

Fig. 3. Mean values of $t_{1/2}\dot{V}o_2$ in 8,10 and 12 years excluded deviant data.Insert numerals show the numbers of subjects.

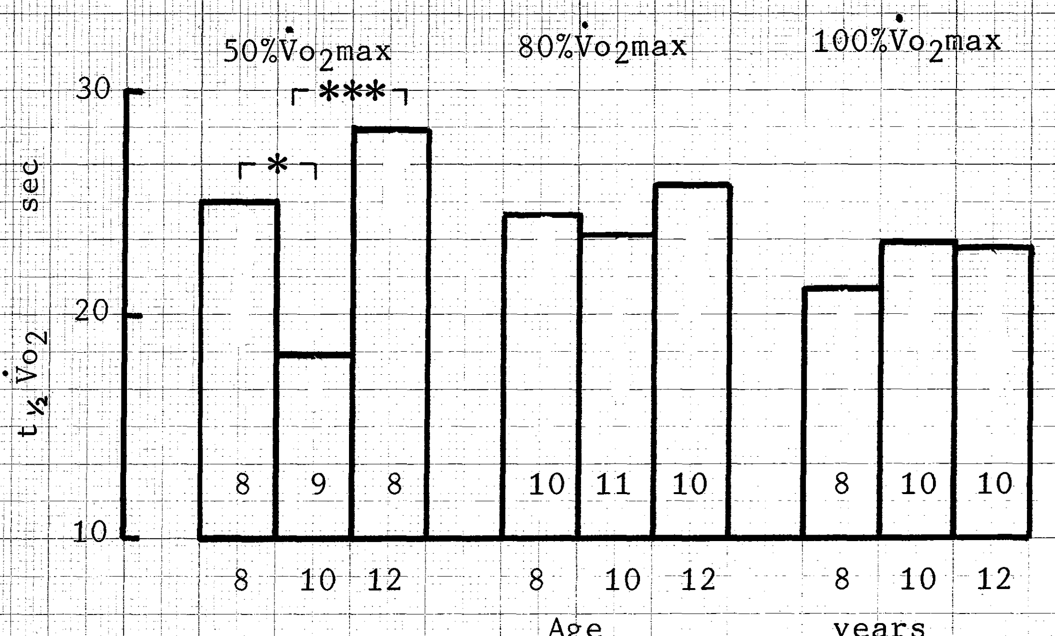

Fig. 4. Comparison of $t_{1/2}\dot{V}o_2$ between 8,10 and 12 years excluded deviant data. Insert numerals show the numbers of subjects.

* : $p<0.05$ *** : $p<0.001$

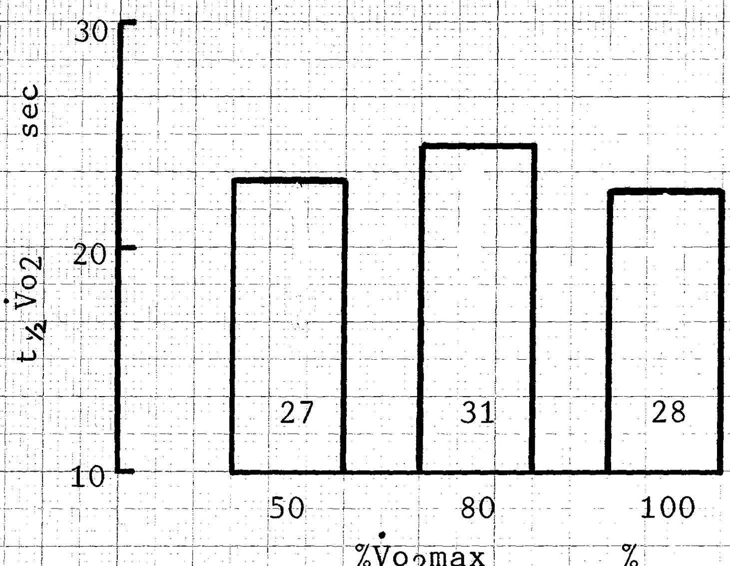

Fig. 5. Mean values of $t_{1/2}\ \dot{V}o_2$ at 50, 80 and 100 %$\dot{V}o_2$max excluded deviant data. Insert numerals show the numbers of subjects.

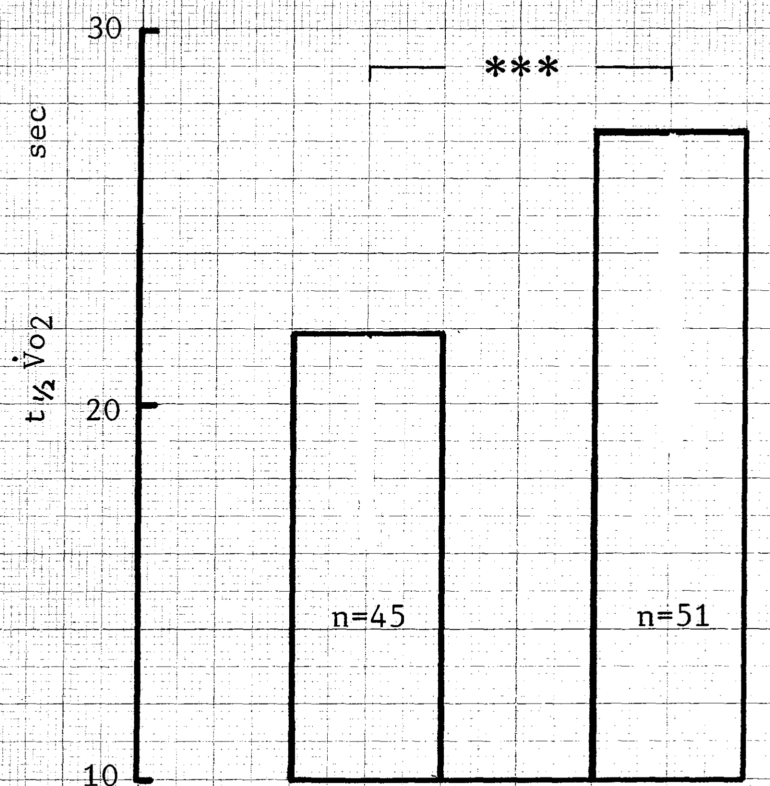

Fig. 6. Comparisons of $t_{1/2}\dot{V}o_2$ between trained and control group. ***:$p<0.001$

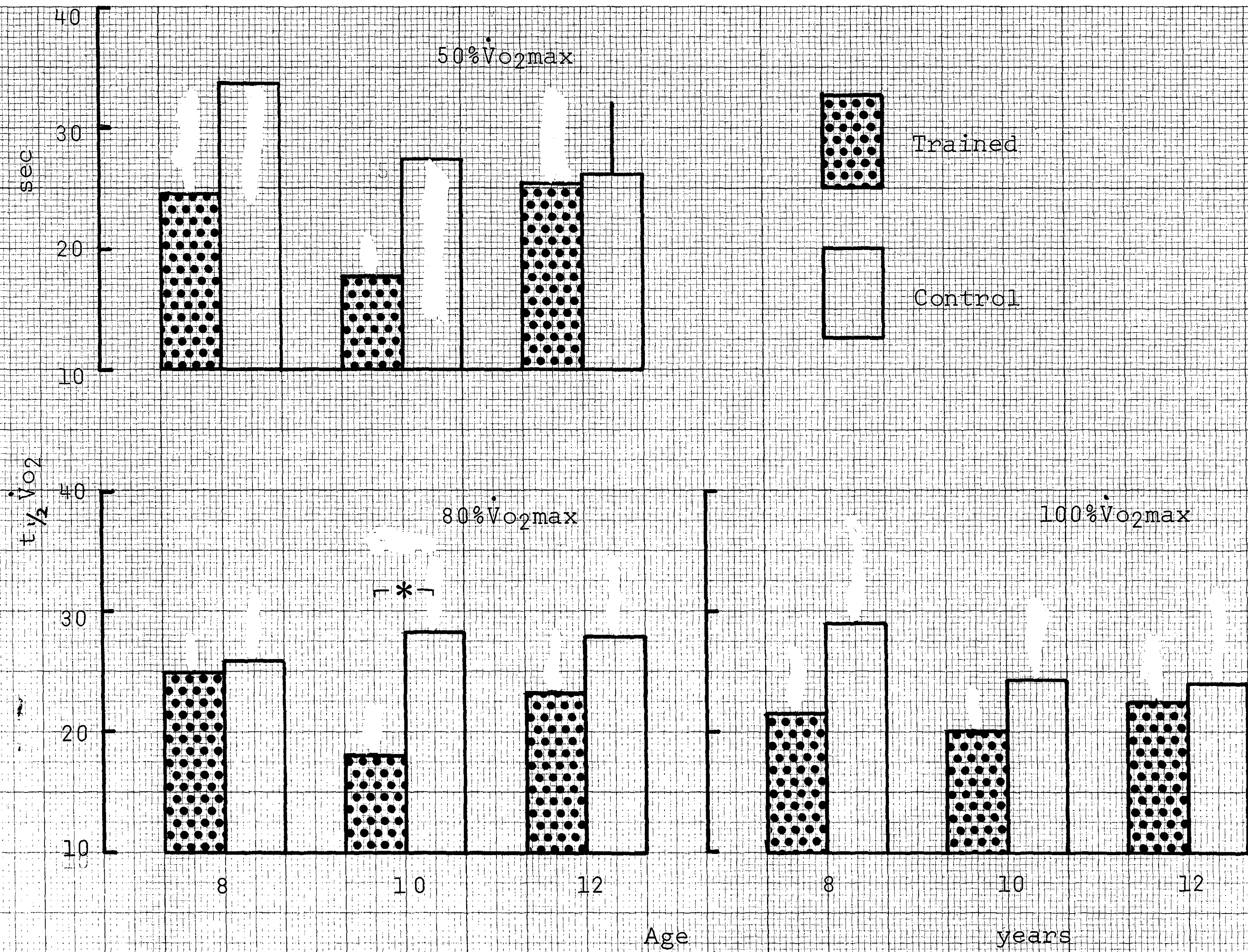

Fig. 7. Comparison of $t_{1/2}\dot{V}o_2$ between trained and control group at 50, 80 and 100 %$\dot{V}o_2$max. $*$: $p<0.05$

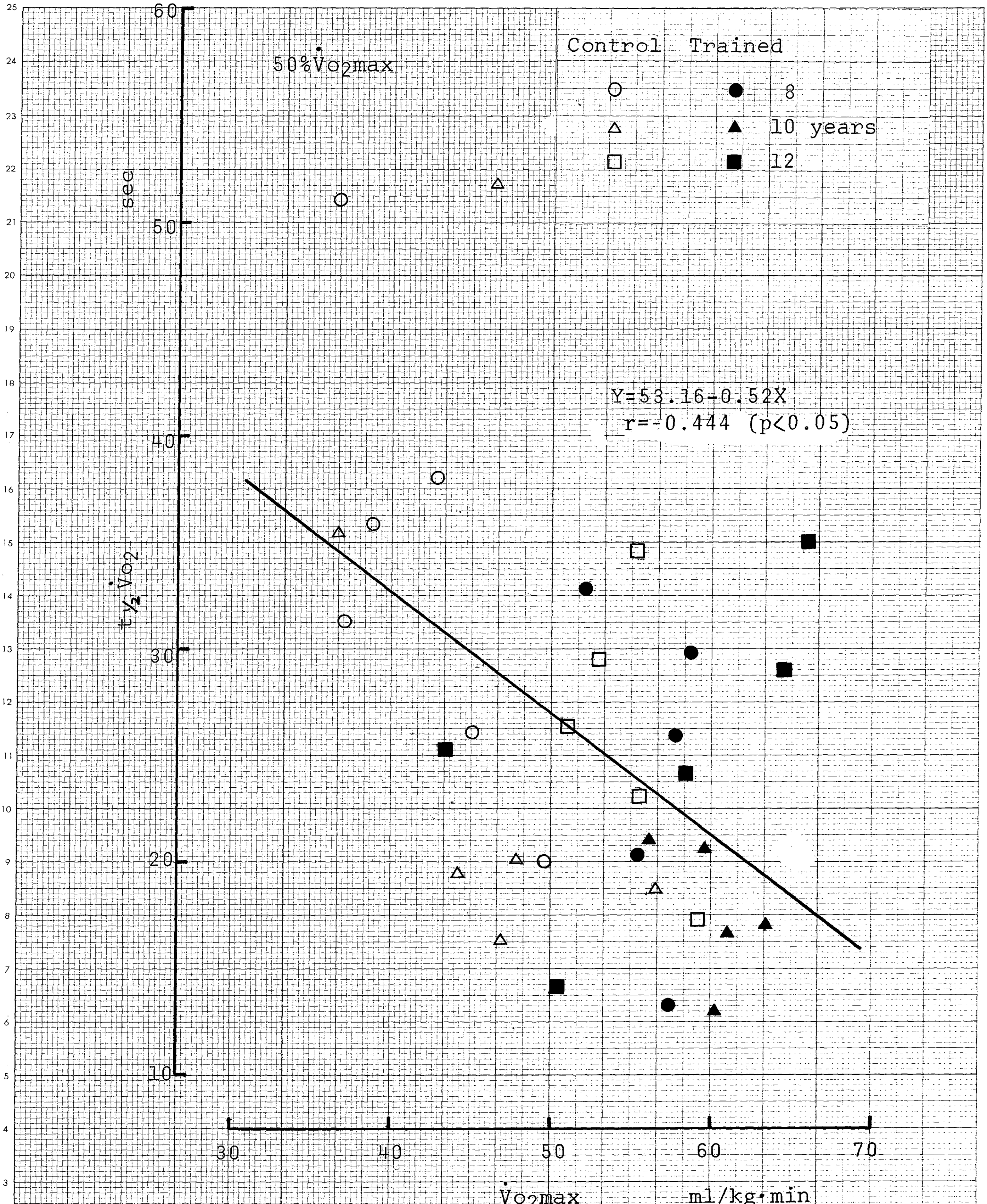

Fig. 8. Relationship between maximal oxygen intake($\dot{V}o_2$max) and $t_{1/2}$ $\dot{V}o_2$ at a load of 50%$\dot{V}o_2$max.

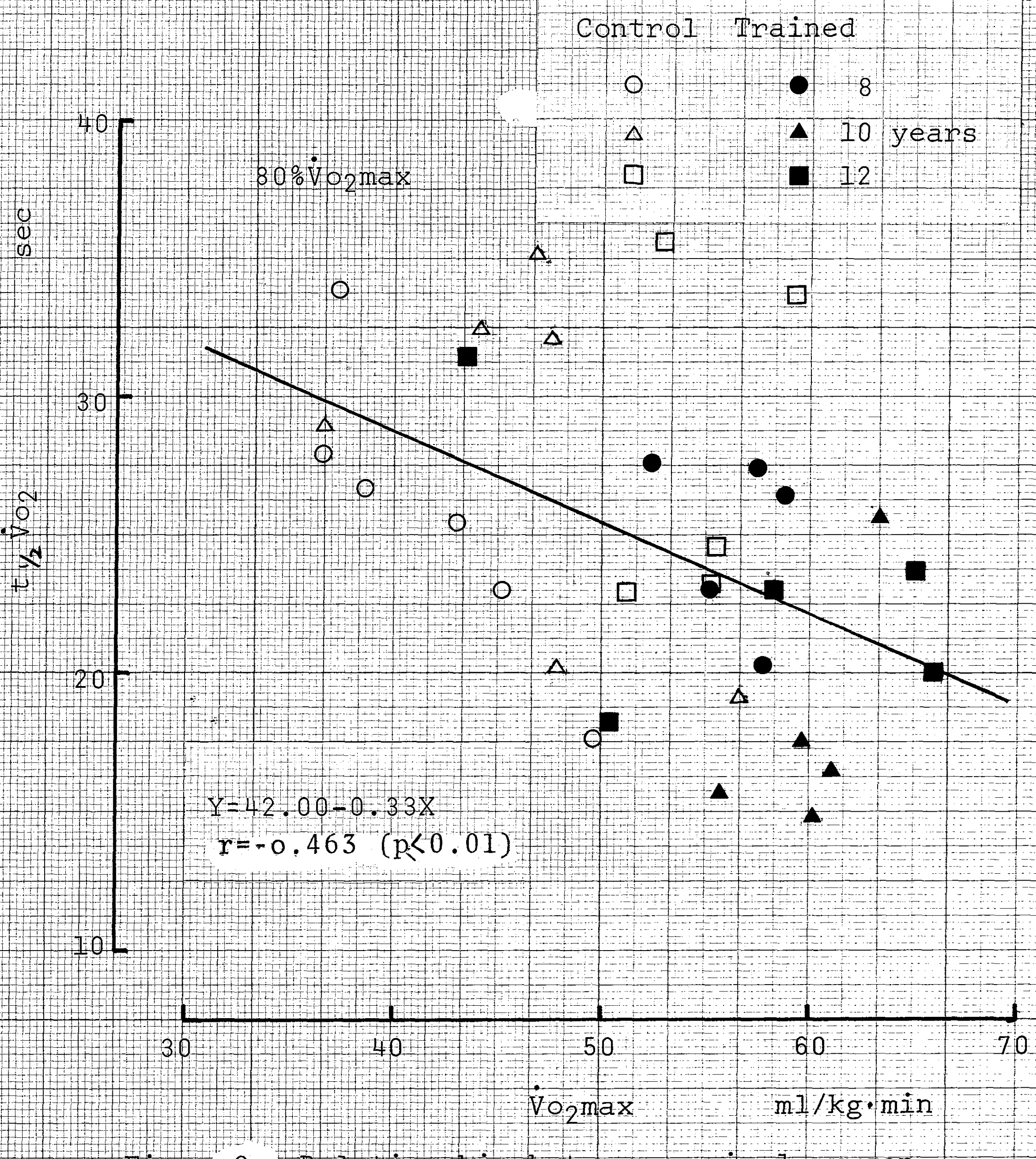

Fig. 9. Relationship between maximal oxygen intake($\dot{V}o_2max$) and $t_{1/2}\dot{V}o_2$ at a load of 80%$\dot{V}o_2max$.

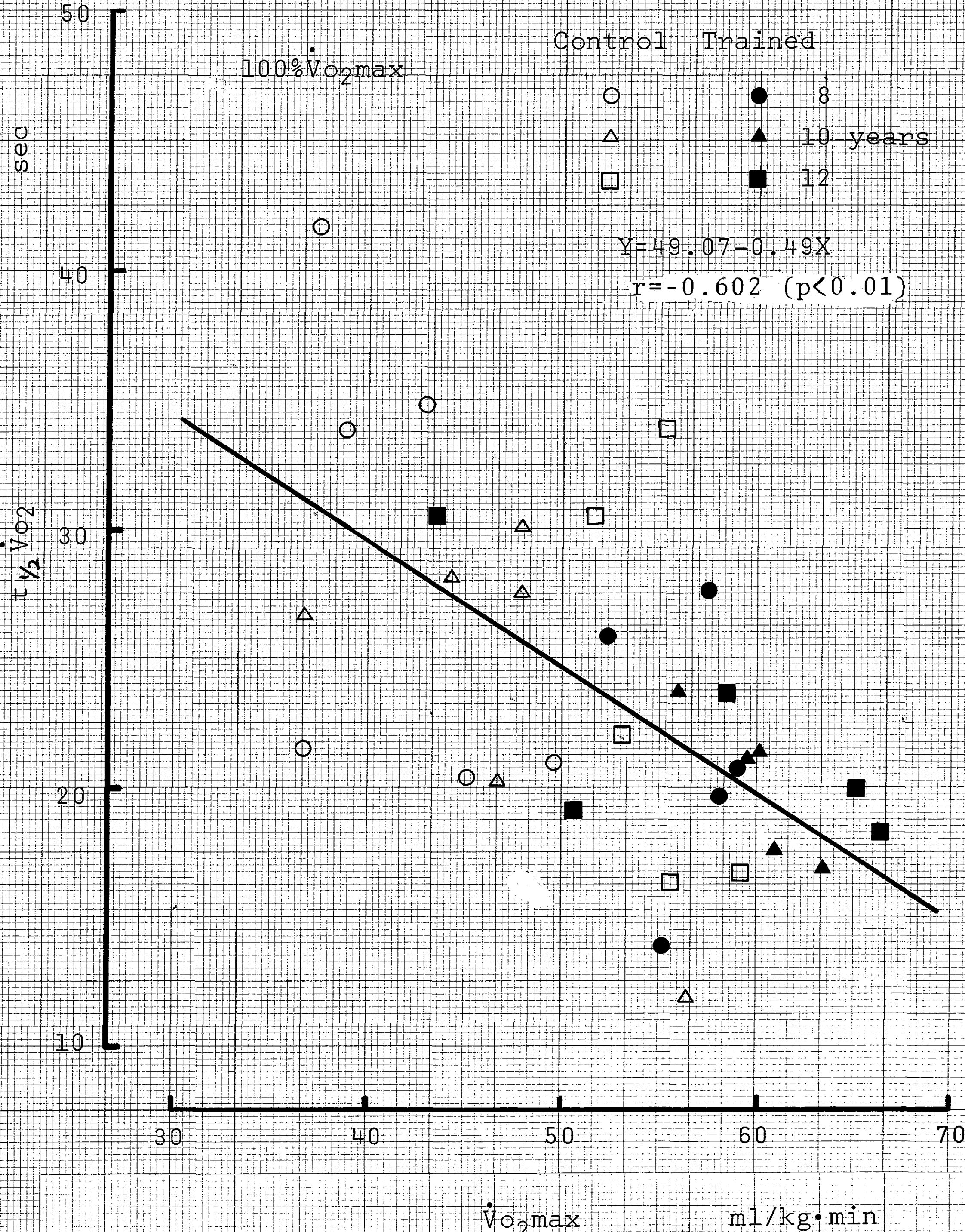

Fig. 10. Relationship between maximal oxygen intake($\dot{V}o_2$max) and $t_{1/2}$ $\dot{V}o_2$ at a load of 100%$\dot{V}o_2$max.