

運動負荷時の動作リズムと呼吸位相：
呼気ガス流量パターンの継時的解析による
有酸素性作業能のグラフィック評価

日本特殊教育学会第 32 回大会

明治学院大学

1994.9.16

藤井力夫

運動負荷時の動作リズムと呼吸位相：呼気ガス流量パターンの継時的解析による有酸素性作業能のグラフィック評価

藤井カ夫
(北海道教育大学)

I 目的

呼気ガス分析の進歩により有酸素作業能、とくに指標となる無酸素性作業閾値 (AT) の評価が容易になった (K.Wasserman 1987)。が、最大負荷運動を要する点で、運動耐容能の低い人たちや精神発達遅滞の人たちには必ずしも適さない。実践的にも AT を正確に特定する必要はなく、それに至るまでの有酸素性作業の持続様態を把握する方が有益。最適負荷値と結合した持続耐容能の評価は、トレーニング計画のみならず各生徒固有の動作リズムの生理的背景をも理解させる。本研究は、高等部・学級構成員の有酸素性作業能の実態把握を目的として実施した諸結果から、呼気ガス流量パターンによるグラフィック評価の有効性について報告する。

II 方法

対象：高等養護学校生徒2年2クラス、男女各10名。平均体重、男 66±9kg、女 52±9kg。

設定：自転車エルゴメータ (竹井機器、TKK-3030) を使った漸増多段階負荷試験 (2分間 25watt、後1分毎 20watt 増) 及び一定負荷試験 (1分間 25watt、後9分間男 90、女 60watt、耐容閾負荷平均の70%相当)。毎分50回転。

記録：呼気ガス分析装置 (ミナト医科学、RM-300) により呼気ガス組成濃度及び呼気ガス流量を breath-by-breath で測定、酸素摂取量、炭酸ガス排出量等を連続記録。他方でテレメータ (日本電気三栄、511X) による心電、フォトセンサによるペダル位置、及び負荷値をログ記録 (5msec)、パソコン解析した。

III 結果

① クラス構成員の有酸素性作業能の実態。

FIG.1 は漸増多段階負荷試験により得られた持続耐容閾の酸素摂取量と仕事量をプロットした。耐容閾点は後述②、及びガス交換比 ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$)、 \dot{V} -slope法、呼気終末炭酸ガス濃度 (PETCO₂) を参考に決定した。クラス構成員 (男子：工業科、女子：クリーニング科) の有酸素性作業能の実態を理解する点できわめて有効。分時酸素摂取量の男女各平均は同年代の70%最大酸素摂取量 (70% $\dot{V}O_{2max}$) の88.2%、82.8%に該当する。

② 漸増多段階負荷試験時の呼気ガス応答。

FIG.2 は酸素摂取量と炭酸ガス排出量の転換点を回帰直線の交点から算出した。耐容閾点は \dot{V} -slope法の AT 点より少し下がる傾向にあるが、心拍動、負荷値と結合した作業持続能の評価には好都合。本生徒 A はクラスの中層に位置 (FIG.1参照、全校マラソン117名中46位)。耐容閾値： $\dot{V}O_2=1698ml$ 、負荷=132watt、HR=157。

③ 呼吸位相の重ね合わせによる呼気ガス流量パターンの継時変化。

耐容閾前後でどのように呼気ガス流量パターンが変化するか。FIG.3 の1-4は、生徒 A の漸増負荷 (FIG.2) に対応する継時変化 (2分間隔で30秒間)。吸気から呼気への換点を軸に重ねあわせ、図中下に動作リズム (右足ペダルが最上位にある踏み込み点) と上に心拍動 (R波) をプロットした。動作及び心拍動は、△型で頂点を平均、底辺を分散として表示。頂点の高さはサイクル内の度数を反

FIG.1 クラス構成員の有酸素性作業能 AT 時の $\dot{V}O_2$ と仕事量 (watt)

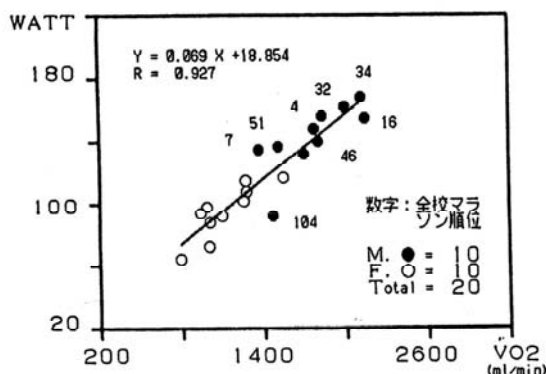


FIG.2 漸増多段階負荷試験時の呼気ガス応答 (生徒 A)

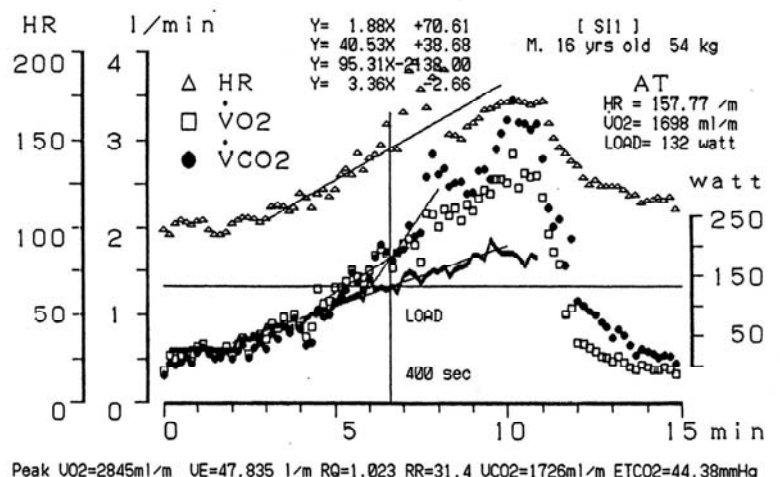


FIG.3-1 呼気ガス流量パターンの継時変化(3' 20"-50")

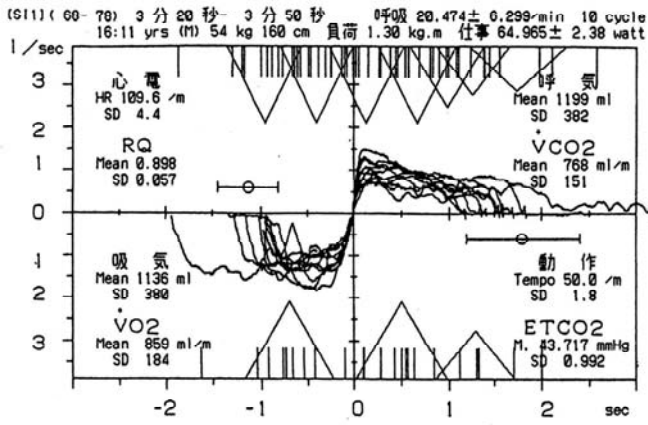


FIG.3-2 呼気ガス流量パターンの継時変化(5' 20"-51")

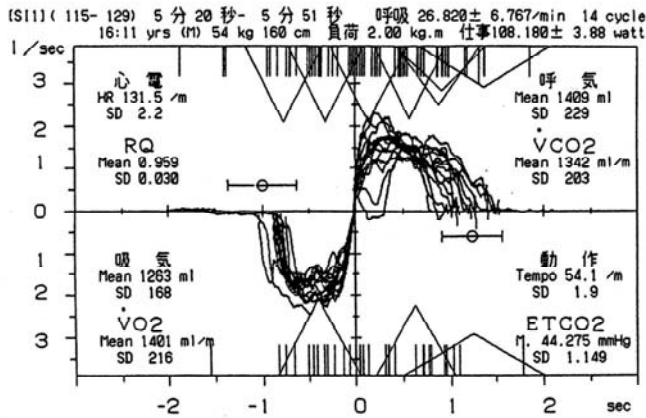


FIG.3-3 呼気ガス流量パターンの継時変化(7' 20"-50")

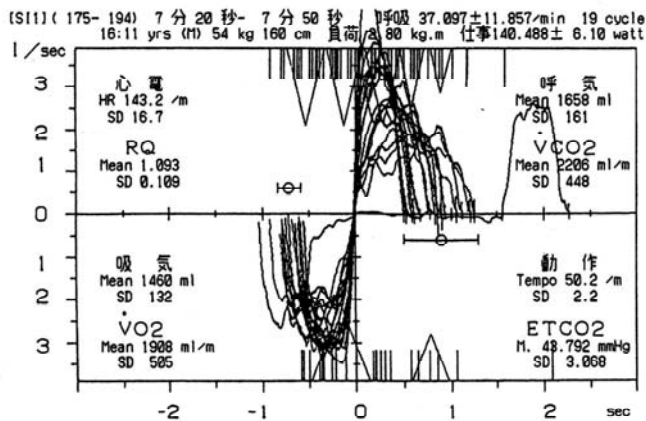
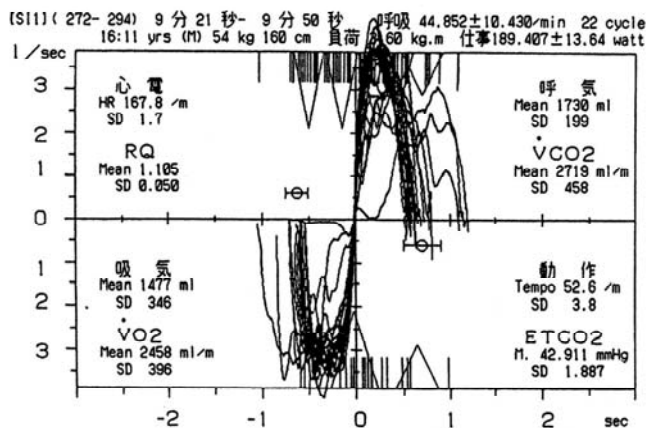


FIG.3-4 呼気ガス流量パターンの継時変化(9' 21"-50")



映。同表 2 と 3 の間に質的な変化を読みとることが出来る。生徒 A の分時酸素摂取量は平均 14 01ml から 1908ml で、持続耐容閾の 1698ml を超過 (112%)。ガス交換比: 0.959 から 1.093。呼気終末期炭酸ガス分圧: 44.275mmHg から 43.792 mmHg でほぼ上限。耐容閾 1 分前の平均負荷=108 watt、心拍動=131、換気量・呼気=1409ml。

④ 一定負荷時の呼気ガス応答 (FIG.4) と呼気ガス流量パターン (FIG.5)。耐容閾負荷の 70% にあたる 90watt、毎分 50 回転。FIG.5 は 7 分 20 秒から 30 秒間の重ねあわせ。一見して FIG.3-2 と同質だとわかる。3 分前後からほぼ同じ定常パターン。呼吸数毎分 30.3 (±5.0) 回。呼気時間 1113 (±301)msec、吸気時間 862 (±182)msec。換気量 (呼気) は 1 回あたり 1279 (±116)ml で、分時酸素摂取量は 1343 (±147)ml。それぞれ耐容閾時の 81%、79% に相当。本生徒にとって最適負荷運動だと判断される (ガス交換比 1.002、呼気終末期炭酸ガス分圧 44.389mmHg)。心拍動は 1 サイクル 4 拍動で、毎分 130.6 (±15.7)。ペダリングも最も効率的に力を発揮できる呼気、吸気転換点に同期。テンポは少し速めの毎分 54 回転。呼吸、心電、動作、各相互引き込みによる一つのリズムの安定を読みとることが出来る。

FIG.4 一定負荷時 (90watt) の呼気ガス応答 (生徒 A)

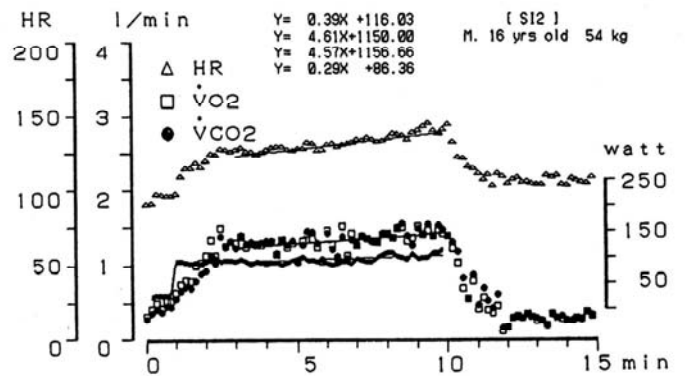
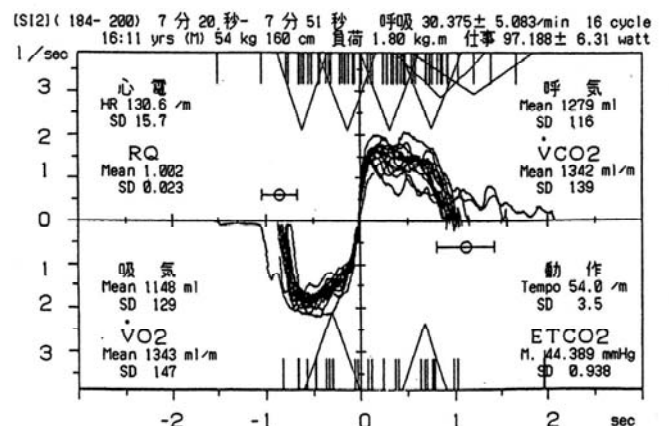


FIG.5 呼気ガス流量パターンの継時変化(7' 20"-51")

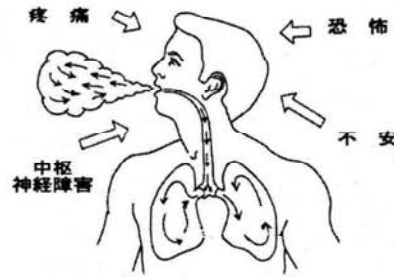


補足資料

B-3. 5分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

A. PaCO₂の低下⇔過換気症候。

[NM1] (137-155) 5分20秒-5分51秒 呼吸 35.515 ± 4.852/min 18 cycle
17:06 yrs (M) 58 kg 167 cm 負荷 2.00 kg.m 仕事 96.791 ± 4.58 watt



PaCO₂ < 38 mmHg

酸塩基平衡

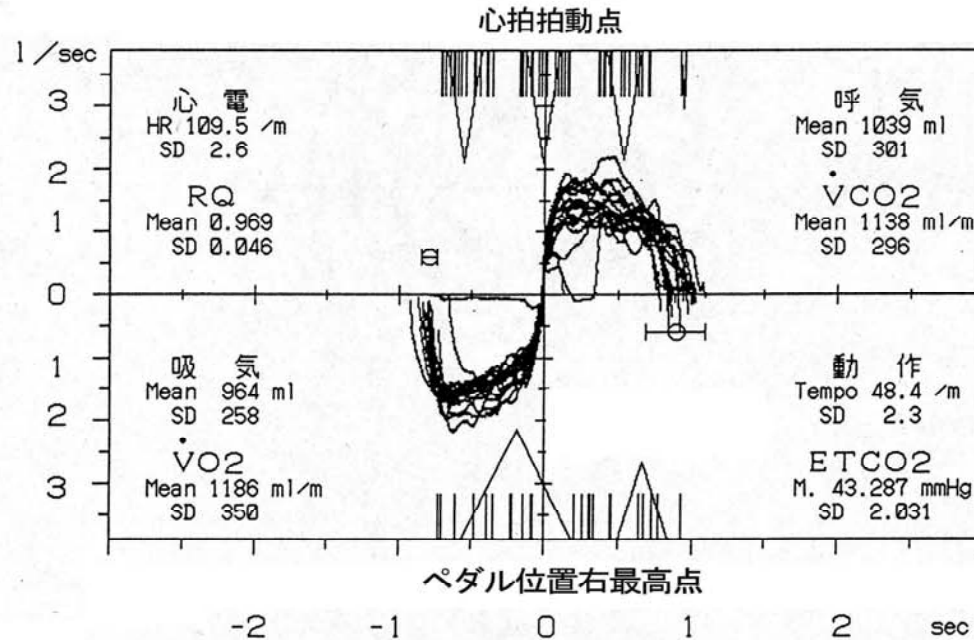
38 mmHg < PaCO₂ < 42 mmHg

動脈血炭酸ガス分圧

7.42 > pH > 7.38

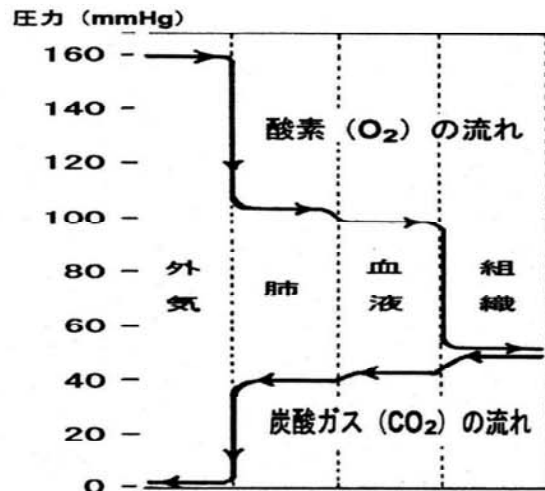
(アルカローシス) 水素イオン濃度 (アシドーシス)

(Gary L. ZAGELBAUM et al., 1988)

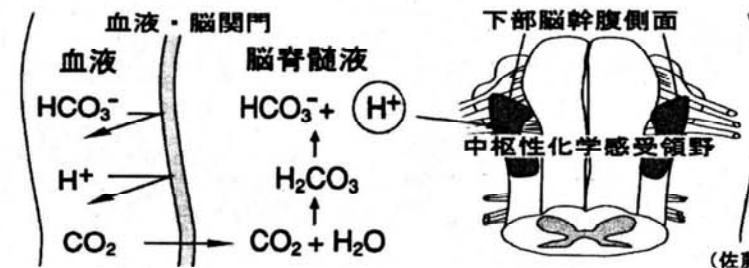


呼気終末
炭酸ガス分圧

B. 酸素と炭酸ガスの流れ。



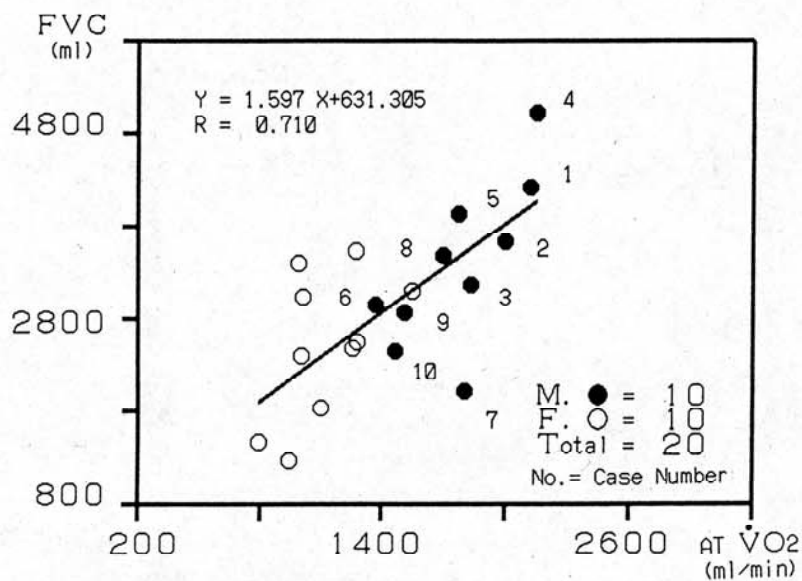
C. 炭酸ガスの化学受容は中枢、脳脊髄液を介した延髄腹外側野。



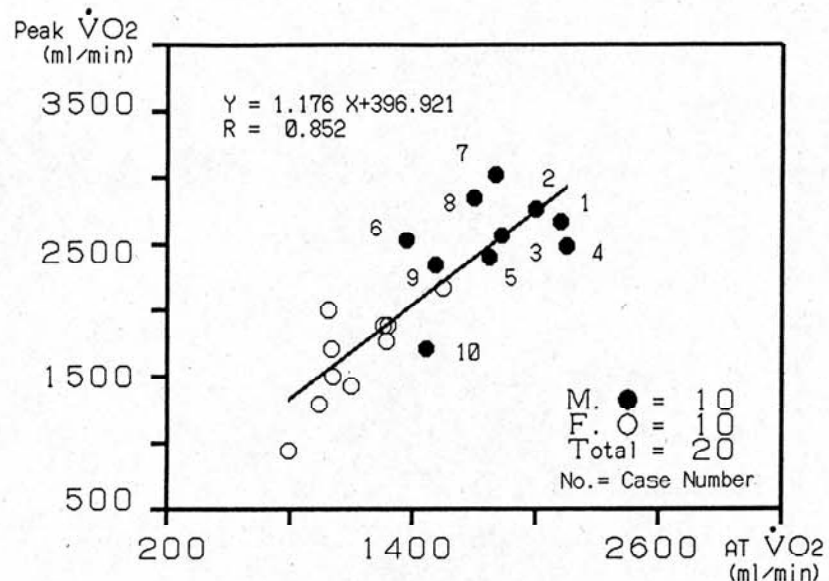
(佐藤：2004)

注)、酸素(O₂)の化学受容器は末梢にあり、頸動脈小体と大動脈小体がそれで、動脈血の酸素分圧(P_{O2})の低下により刺激され、呼吸を促進する。これに対し、炭酸ガス(CO₂)の化学受容は中枢で、脳脊髄液の水素イオン(H⁺)を介して延髄の腹外側野で感受される。脳血管と脳との機能的関門、血液・脳関門は、炭酸ガスは通すが、水素イオンや重炭酸イオン(HCO₃⁻)は通さない。通過した炭酸ガスは、脳脊髄液のなかで、水(H₂O)と反応し、水素イオンと重炭酸イオンとなり、この水素イオンが延髄の化学感受野を刺激する。

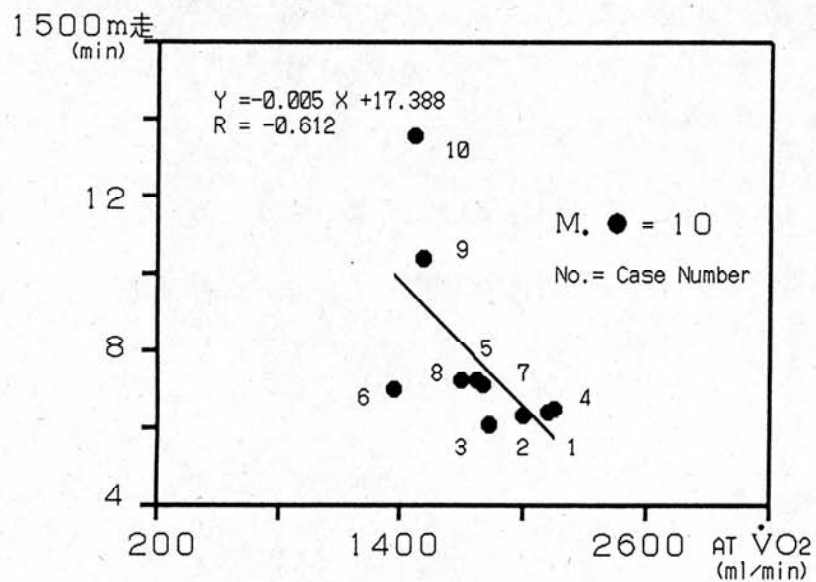
A. AT時分時酸素摂取量 (AT $\dot{V}O_2$) と最大努力換気量 (FVC)



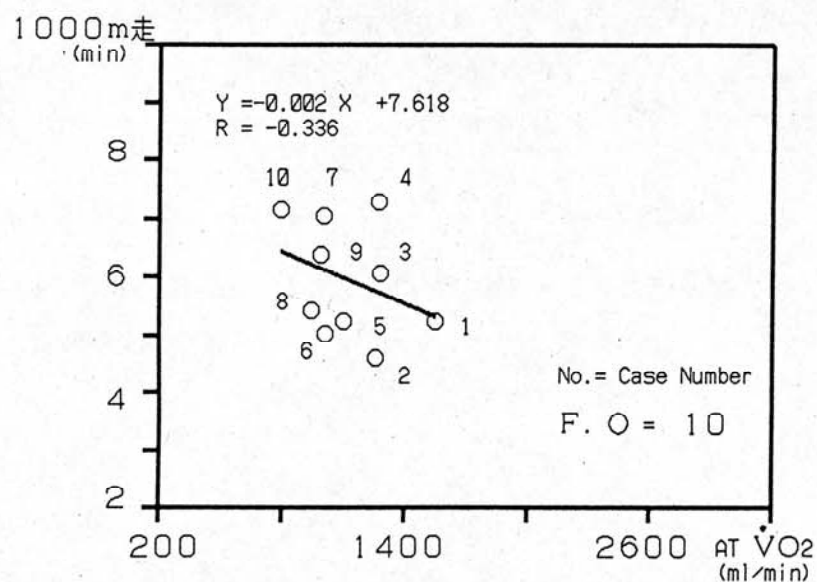
B. AT時分時酸素摂取量 (AT $\dot{V}O_2$) とピーク分時酸素摂取量 (Peak $\dot{V}O_2$)



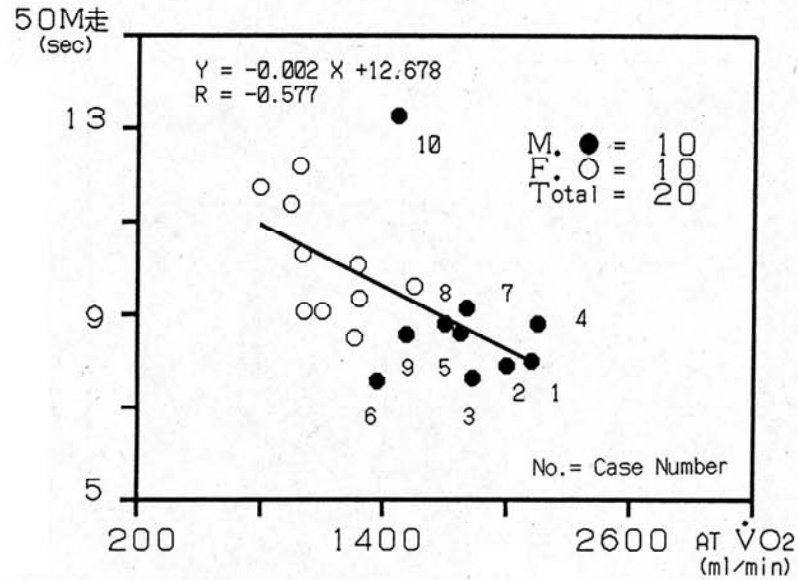
C. AT時分時酸素摂取量 (AT $\dot{V}O_2$) と持久走1500m (男子)



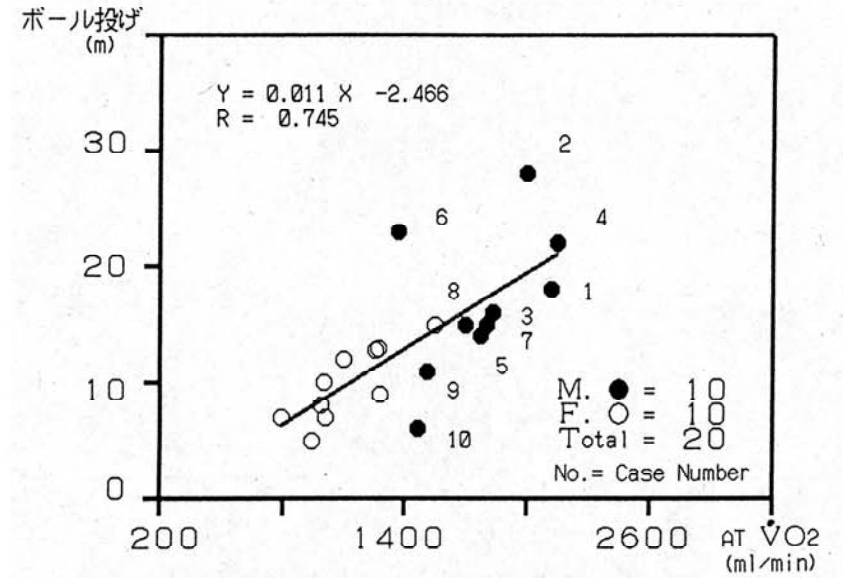
D. AT時分時酸素摂取量 (AT $\dot{V}O_2$) と持久走1000m (女子)



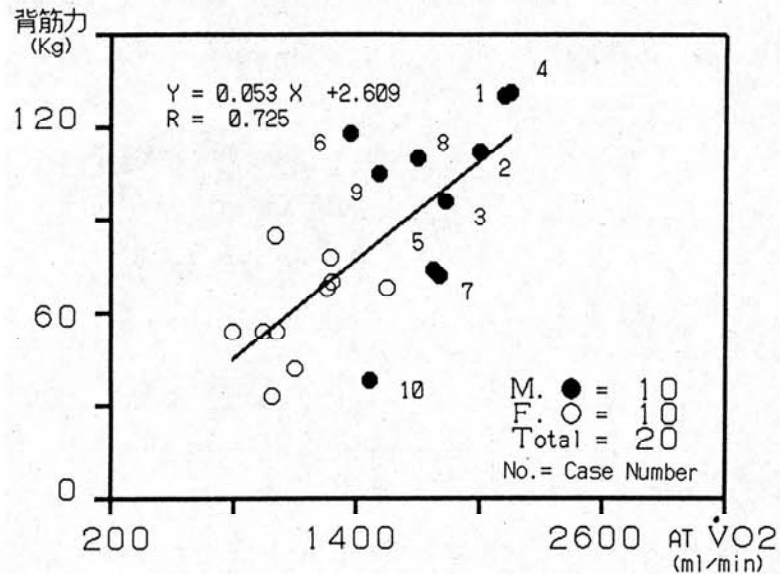
E. AT時分時酸素摂取量 (AT $\dot{V}O_2$) と短距離50m走



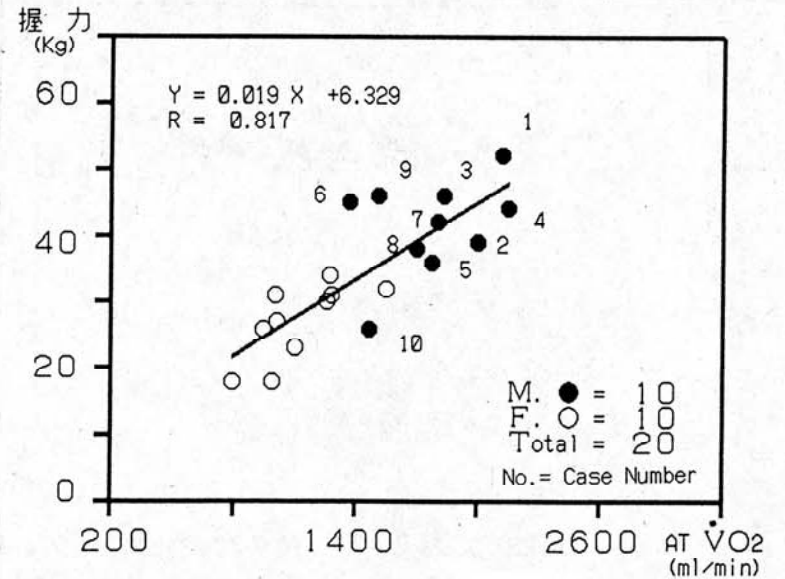
F. AT時分時酸素摂取量 (AT $\dot{V}O_2$) とボール投げ (ソフトボール)



G. AT時分時酸素摂取量 (AT $\dot{V}O_2$) と背筋力

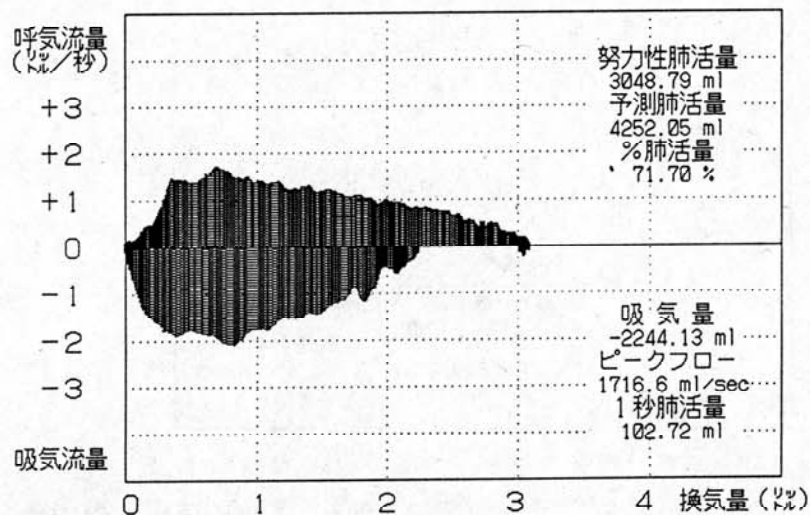


H. AT時分時酸素摂取量 (AT $\dot{V}O_2$) と握力 (左右強い方)

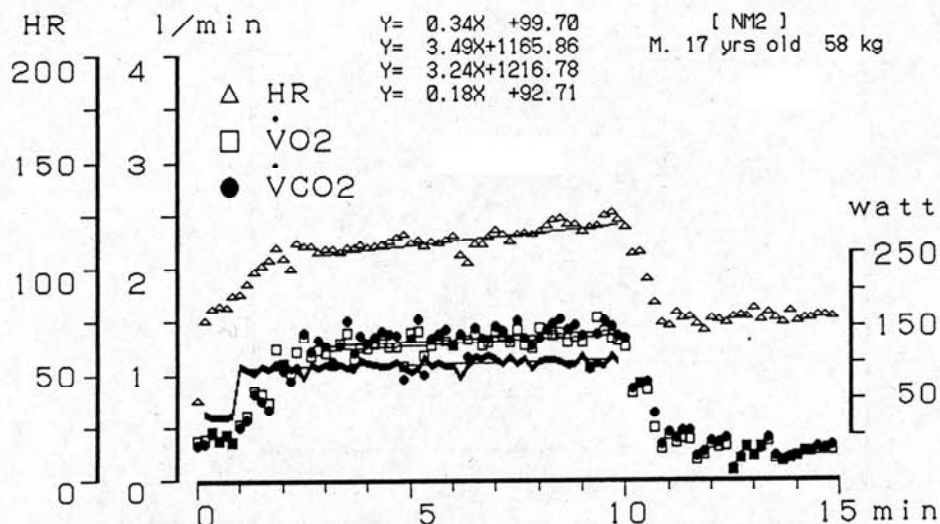


A. 最大努力換気量 (Flow-volume 曲線)

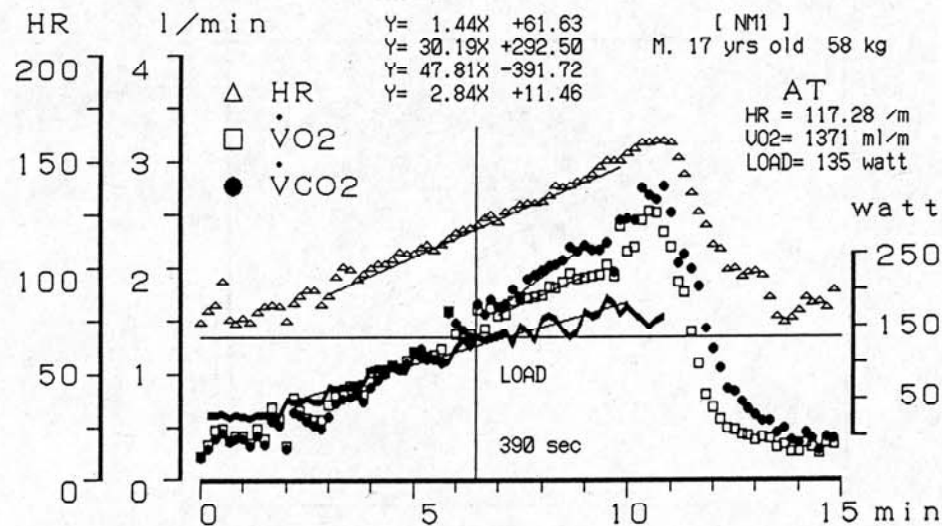
[NM1] 男 年齢 17:06 身長 167.8 cm 体重 58.0 kg



C-1. 一定負荷試験 (90 watt)、呼気ガス応答

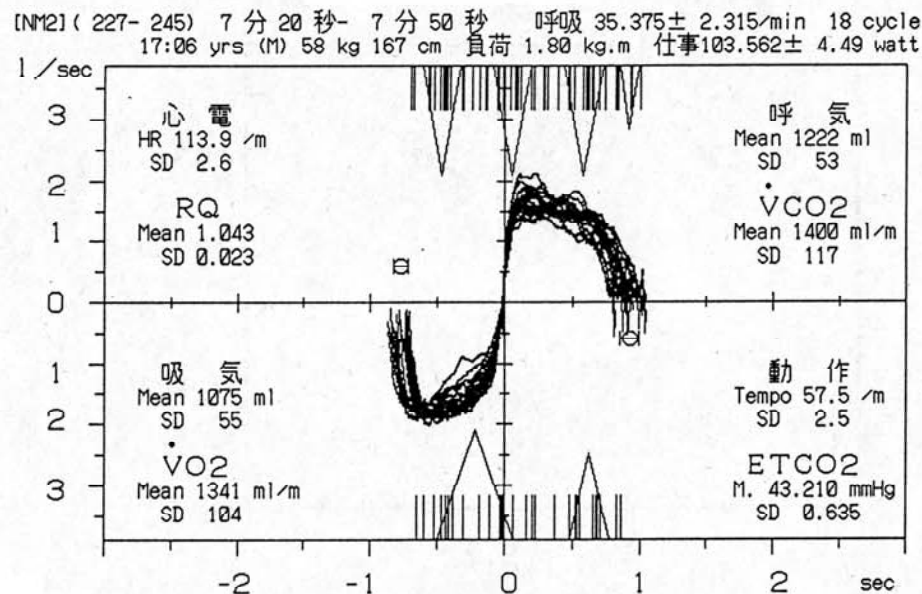


B-1. 漸増多段階負荷 (25 watt/sec)、呼気ガス応答 (AT)



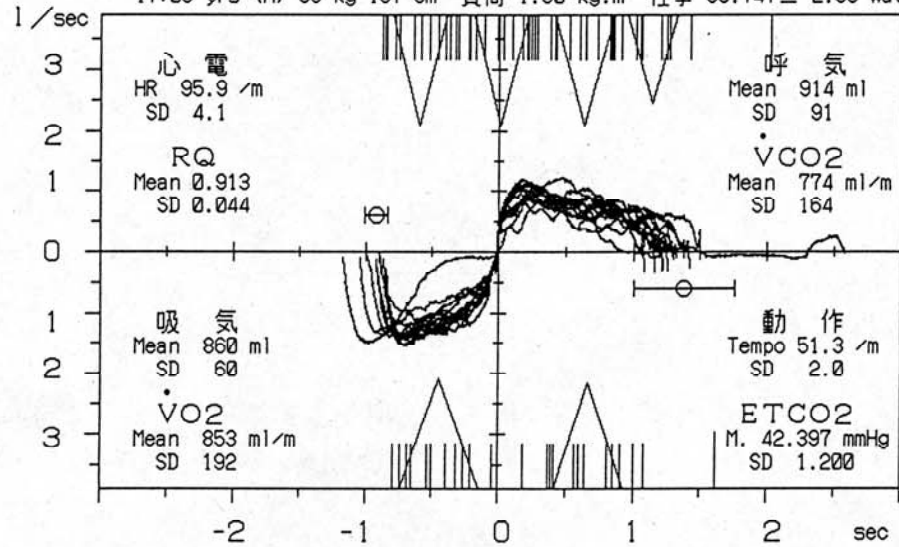
Peak $\dot{V}O_2=2527\text{ml}/\text{m}$ $UE=39.872\text{ l}/\text{m}$ $RQ=0.994$ $RR=33.6$ $UCO_2=1334\text{ml}/\text{m}$ $ETCO_2=43.21\text{mmHg}$

C-2. 7分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン



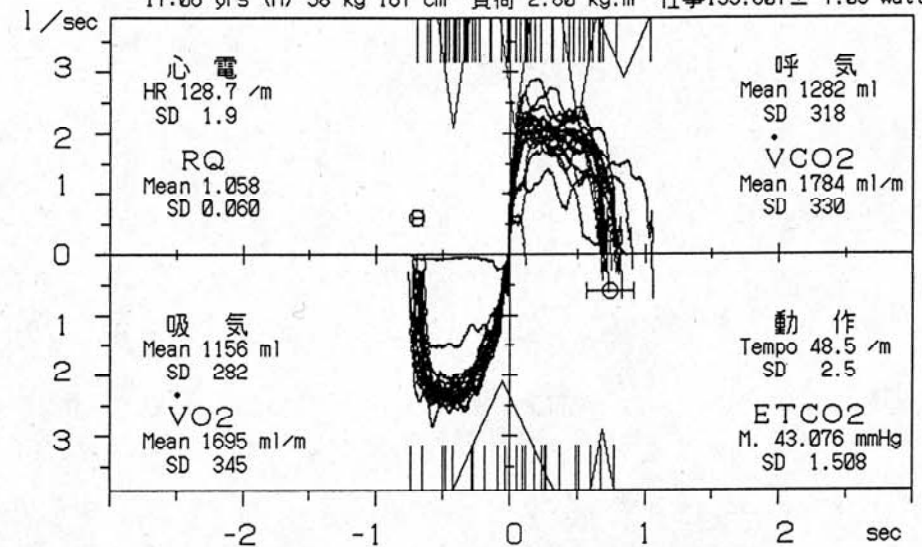
B-2. 3分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

[NM11] (79-92) 3分21秒-3分51秒 呼吸 26.022±3.966/min 13 cycle
17:06 yrs (M) 58 kg 167 cm 負荷 1.30 kg.m 仕事 66.747±2.63 watt



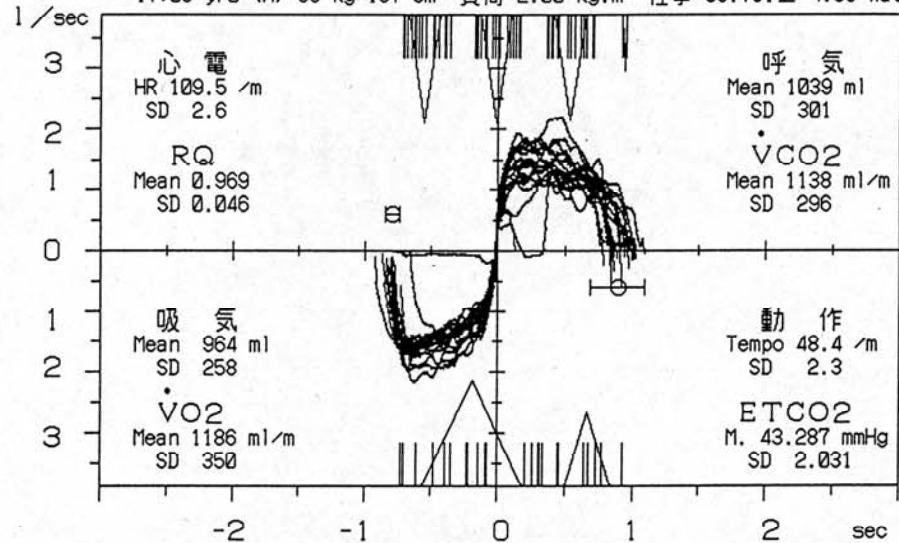
B-4. 7分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

[NM11] (212-232) 7分21秒-7分50秒 呼吸 41.652±4.747/min 20 cycle
17:06 yrs (M) 58 kg 167 cm 負荷 2.80 kg.m 仕事 135.807±7.05 watt



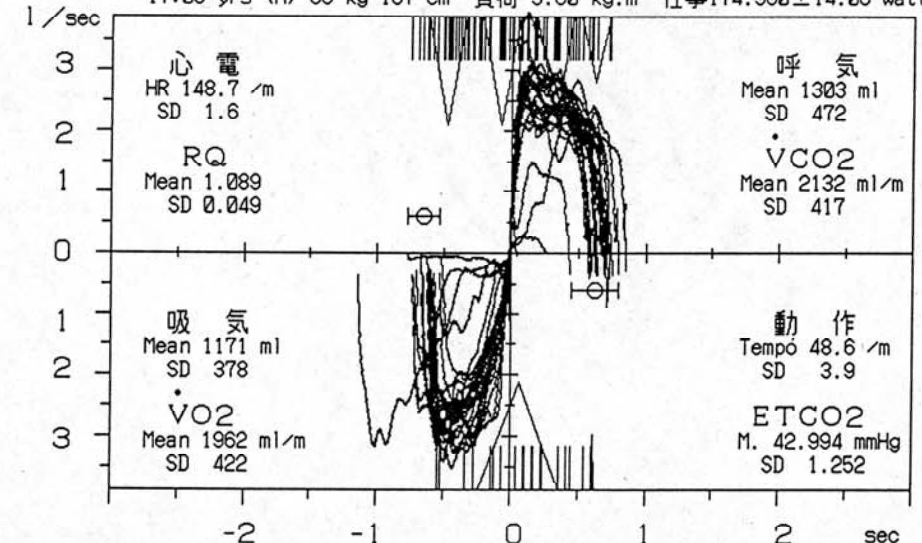
B-3. 5分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

[NM11] (137-155) 5分20秒-5分51秒 呼吸 35.515±4.852/min 18 cycle
17:06 yrs (M) 58 kg 167 cm 負荷 2.00 kg.m 仕事 96.791±4.58 watt

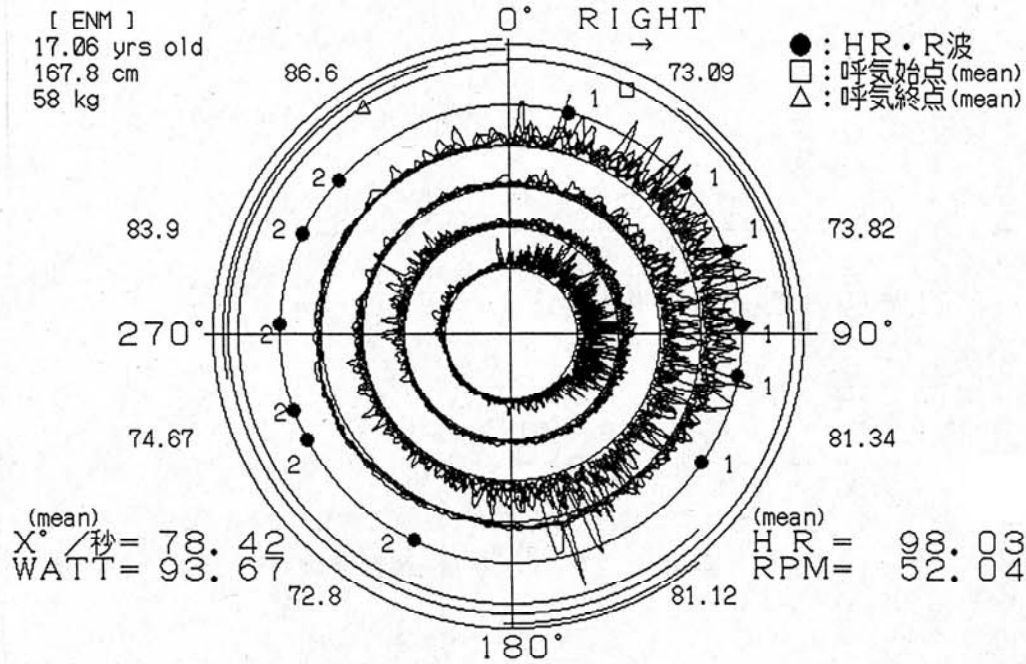


B-5. 9分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

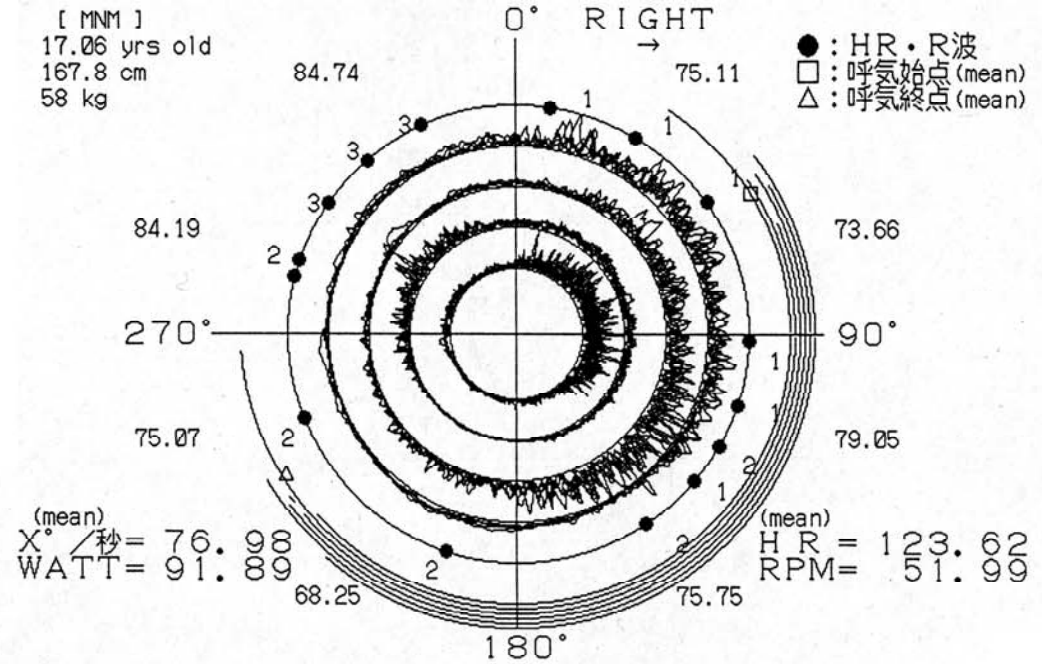
[NM11] (299-322) 9分21秒-9分50秒 呼吸 47.035±7.915/min 23 cycle
17:06 yrs (M) 58 kg 167 cm 負荷 3.60 kg.m 仕事 174.960±14.06 watt



A-1. 筋電図学的分析 (自然呼吸)

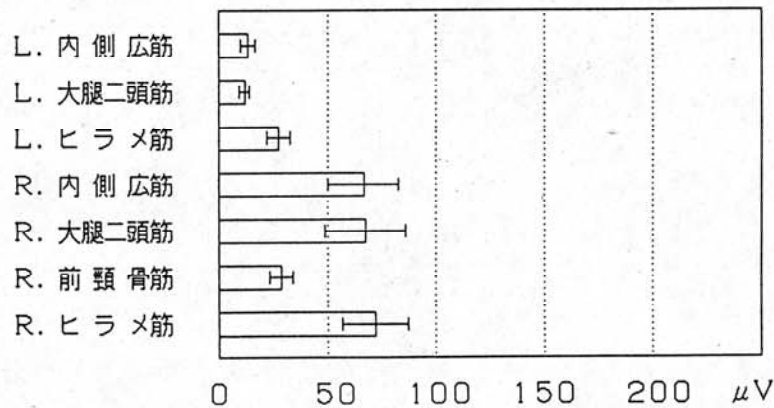


B-1. 筋電図学的分析 (右足踏み込み時呼吸)

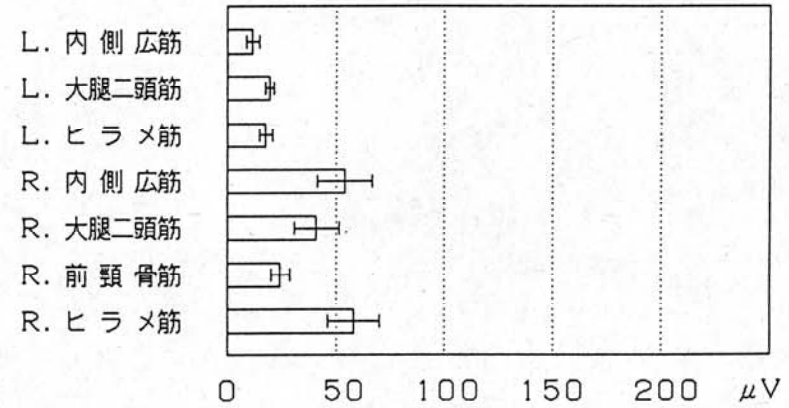


※上筋電図は 右足ペダリング時で、0° は ペダル位置が最上段。各1分30秒前後、6サイクルを重ね書きした。内より、ヒラメ筋、前頸骨筋、大腿二頭筋、内側広筋、心電・R波時 (数字は、サイクル内の拍動の順番)、呼吸呼吸相時を示す。外側の数字は、45° 毎の角回転速度の平均値。

A-2. 60° ~ 120° 時筋放電比較 (自然呼吸)

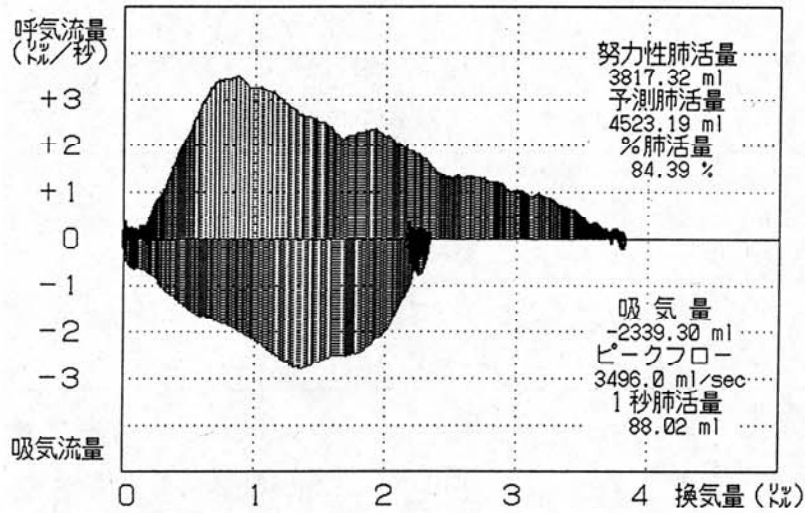


B-2. 60° ~ 120° 時筋放電比較 (右足踏み込み時呼吸)

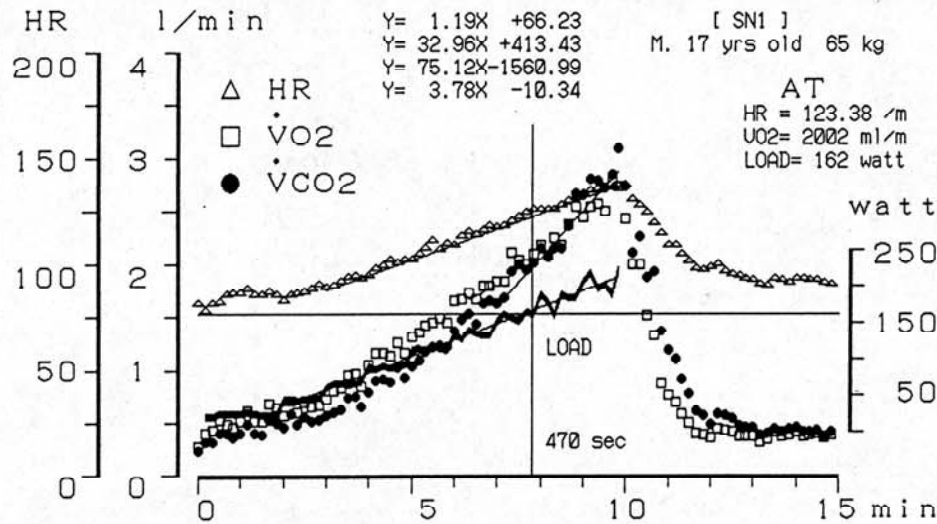


A. 最大努力換気量 (Flow-volume 曲線)

[USN] 男 年齢 17:05 身長 178.5 cm 体重 65.0 kg

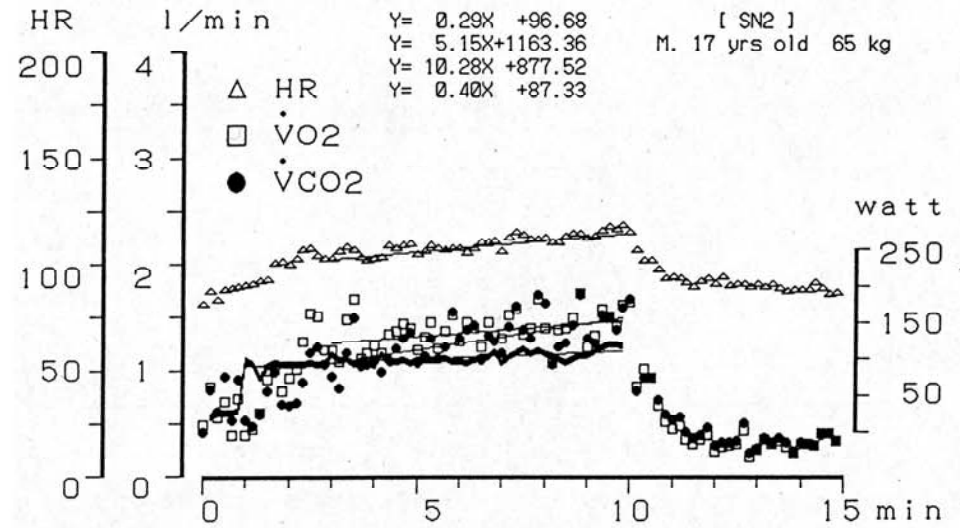


B-1. 漸增多段階負荷 (25 watt/sec)、呼気ガス応答 (AT)

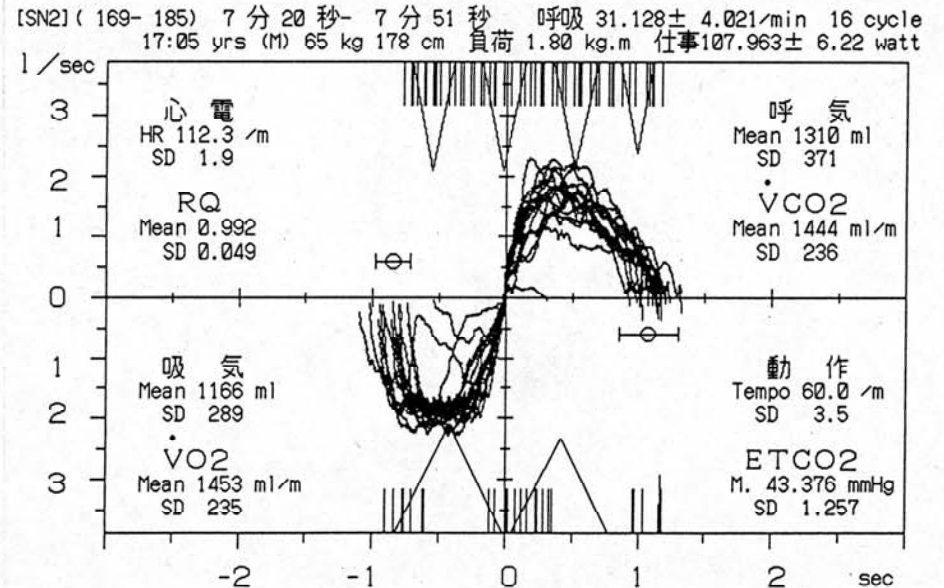


Peak UO2=2768ml/m UE=52.750 l/m RQ=0.972 RR=32.8 UC02=1948ml/m ETC02=44.98mmHg

C-1. 一定負荷試験 (90 watt)、呼気ガス応答

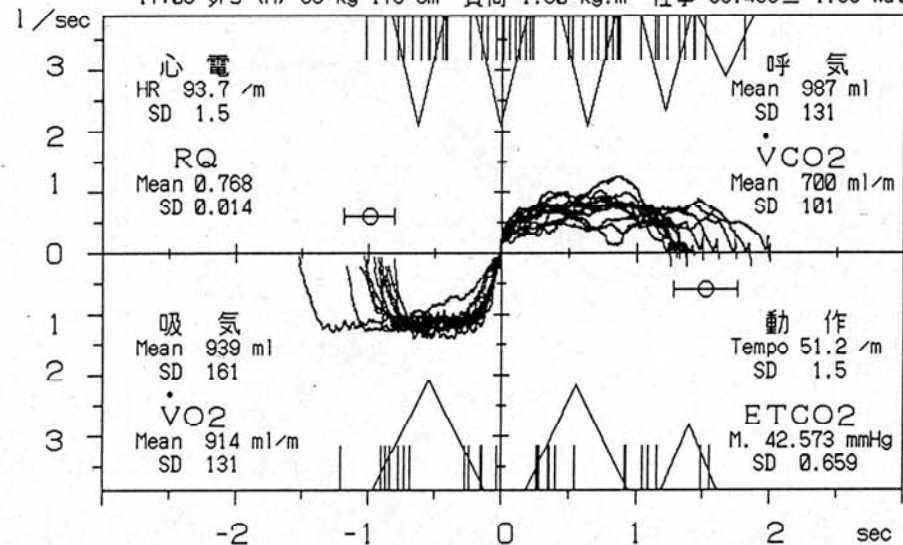


C-2. 7分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン



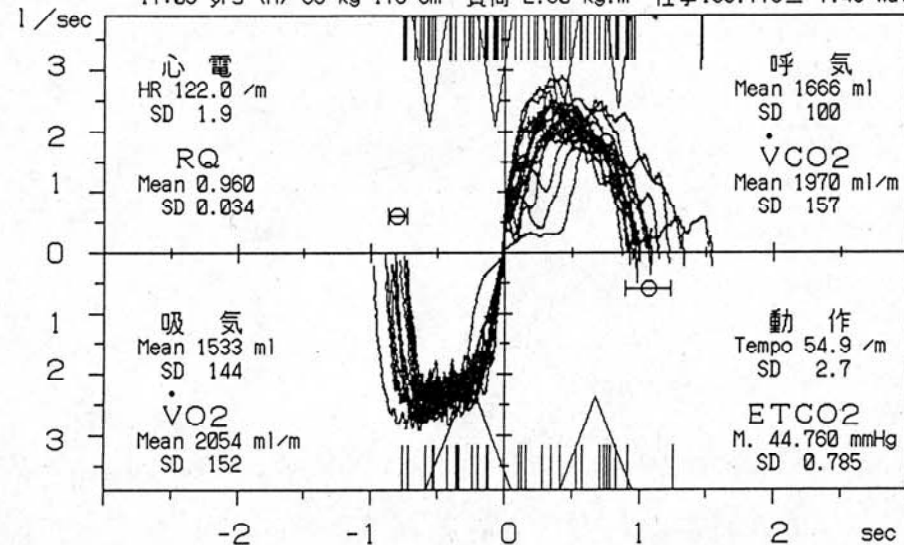
B-2. 3分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

[SN1](77- 89) 3分21秒- 3分51秒 呼吸 23.885±3.488/min 12 cycle
17:05 yrs (M) 65 kg 178 cm 負荷 1.30 kg.m 仕事 66.496±1.98 watt



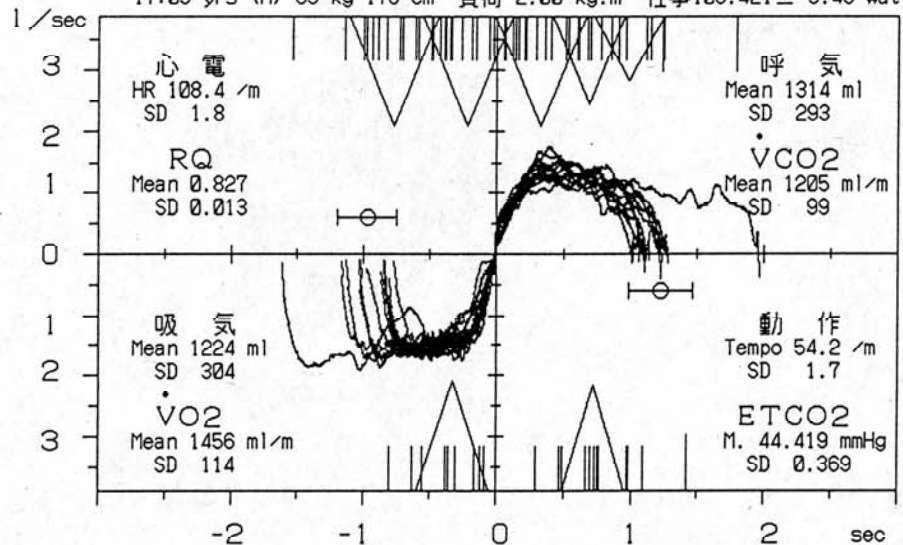
B-4. 7分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

[SN1](185- 202) 7分20秒- 7分51秒 呼吸 32.131±3.209/min 17 cycle
17:05 yrs (M) 65 kg 178 cm 負荷 2.80 kg.m 仕事 153.776±7.46 watt



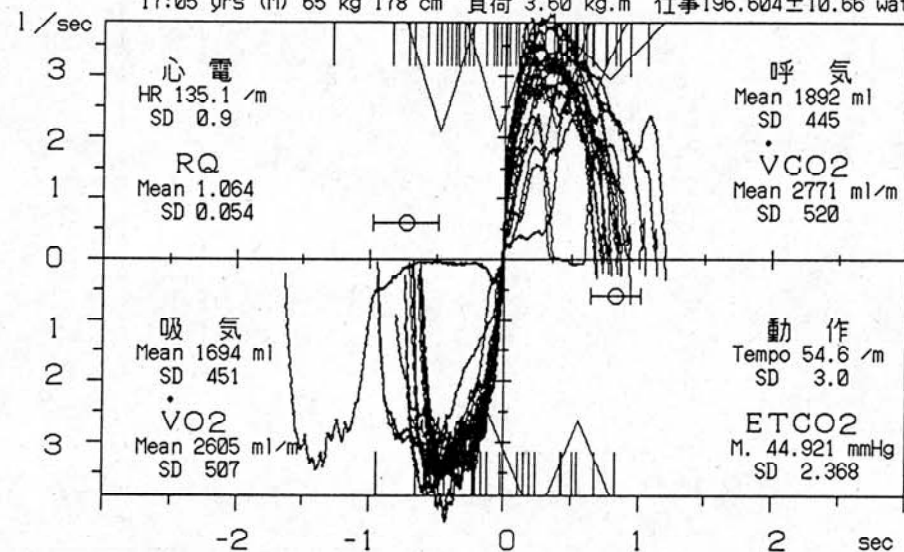
B-3. 5分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

[SN1](127- 140) 5分21秒- 5分50秒 呼吸 27.311±5.679/min 13 cycle
17:05 yrs (M) 65 kg 178 cm 負荷 2.00 kg.m 仕事 108.421±3.45 watt

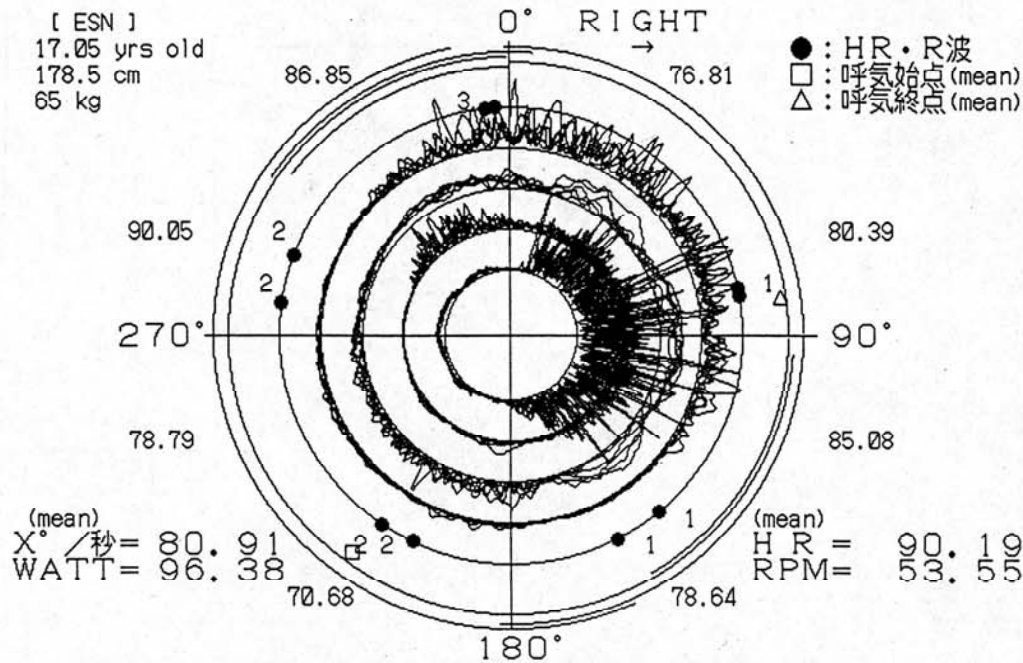


B-5. 9分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

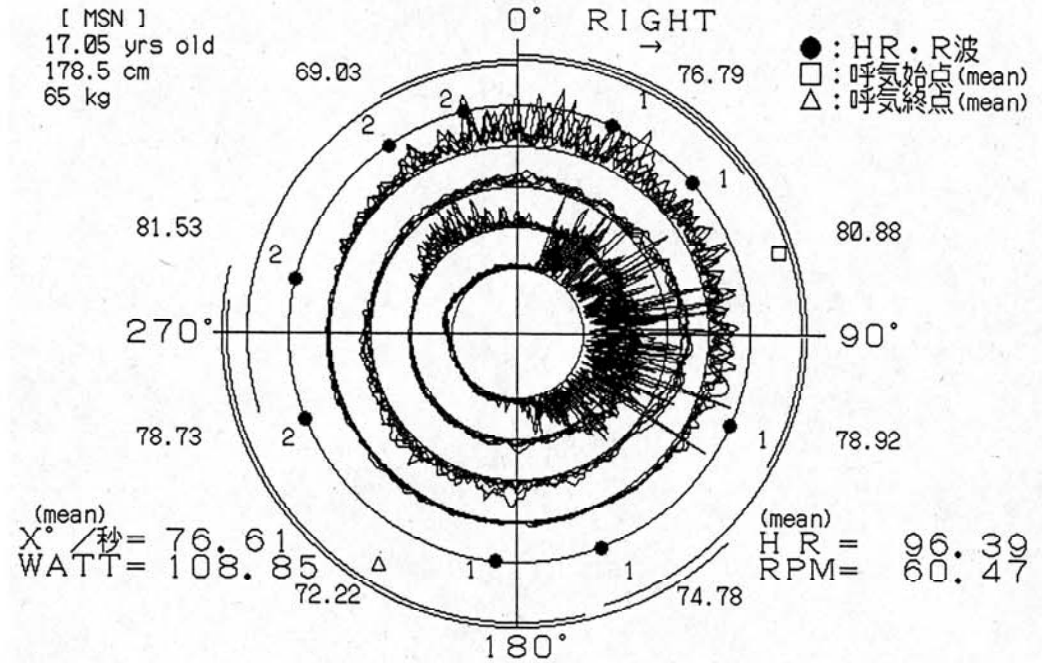
[SN1](254- 273) 9分20秒- 9分50秒 呼吸 38.242±9.023/min 19 cycle
17:05 yrs (M) 65 kg 178 cm 負荷 3.60 kg.m 仕事 196.604±10.66 watt



A-1. 筋電図学的分析 (自然呼吸)

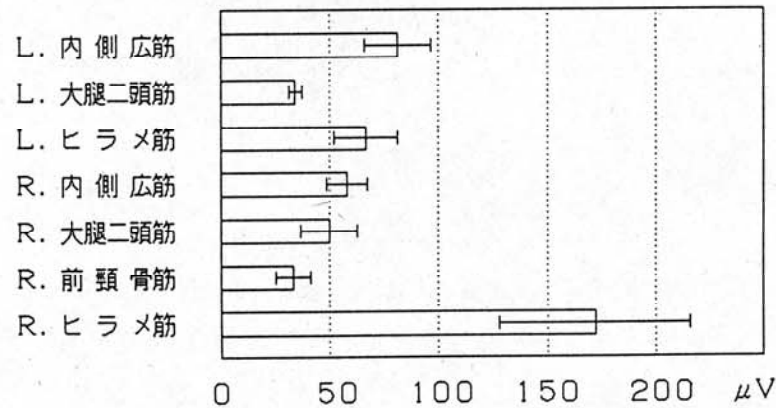


B-1. 筋電図学的分析 (右足踏み込み時呼吸)

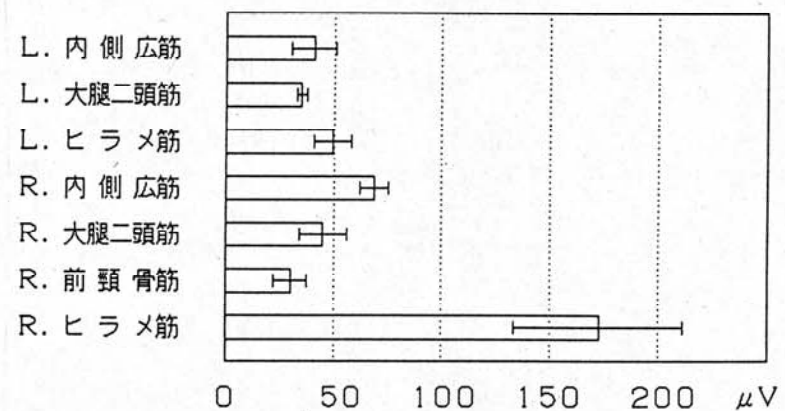


※上筋電図は 右足ペダリング時で、0° は ペダル位置が最上段。各1分30秒前後、6サイクルを重ね書きした。内より、ヒラメ筋、前頸骨筋、大腿二頭筋、内側広筋、心電・R波時 (数字は、サイクル内の拍動の順番)、呼吸呼吸相時を示す。外側の数字は、45° 毎の角回転速度の平均値。

A-2. 60° ~ 120° 時筋放電比較 (自然呼吸)

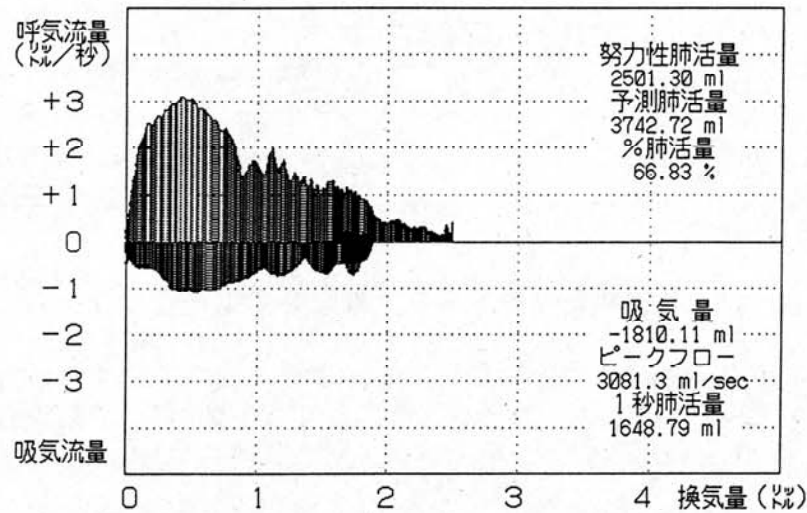


B-2. 60° ~ 120° 時筋放電比較 (右足踏み込み時呼吸)

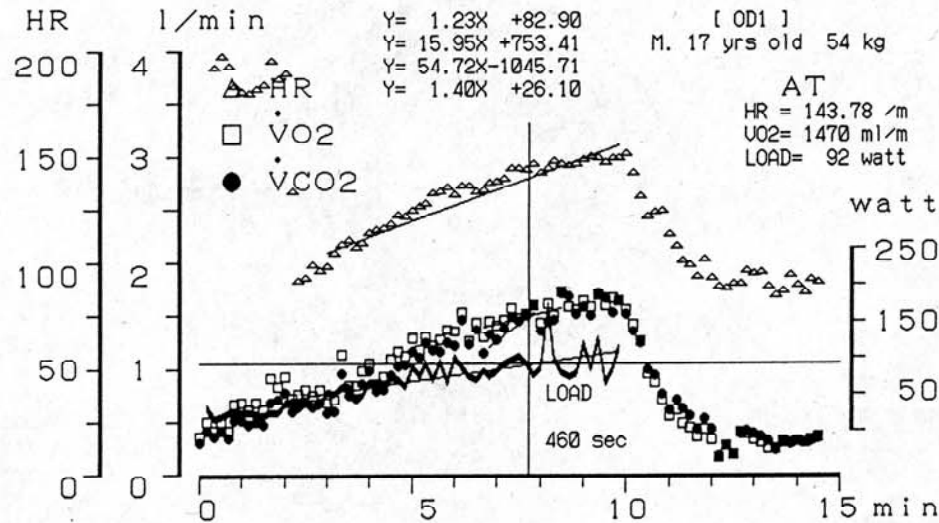


A. 最大努力換気量 (Flow-volume 曲線)

[FOD] 男 年齢 17:05 身長 147.7 cm 体重 54.0 kg

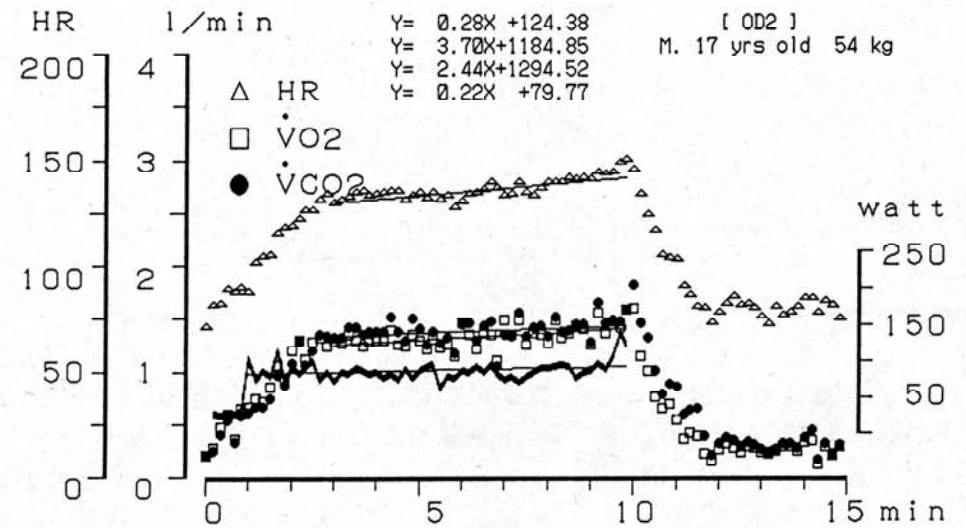


B-1. 漸増多段階負荷 (15 watt/sec)、呼気ガス応答 (AT)

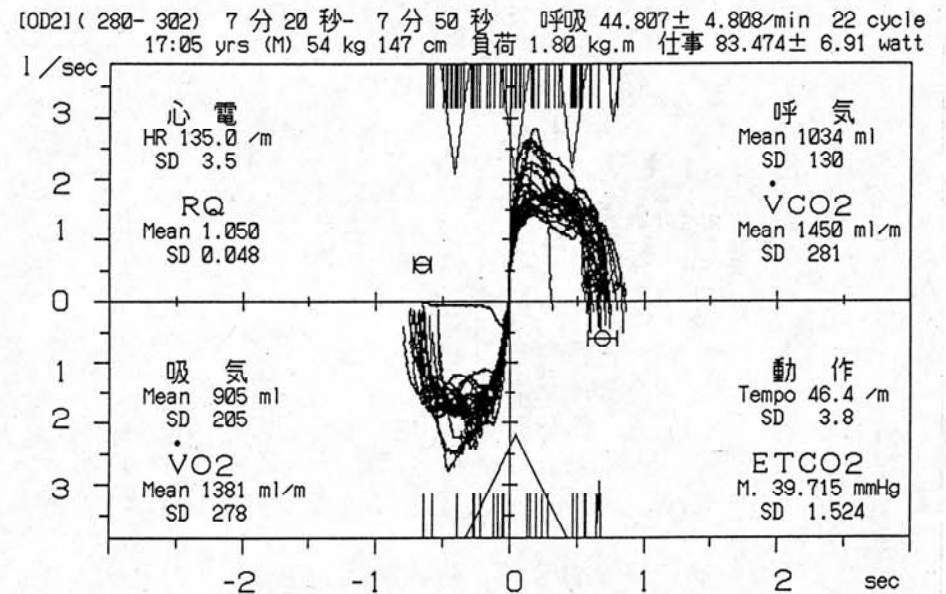


Peak UO2=1719ml/m UE=46.350 l/m RQ=0.982 RR=39.1 UC02=1444ml/m ETC02=40.95mmHg

C-1. 一定負荷試験 (90 watt)、呼気ガス応答

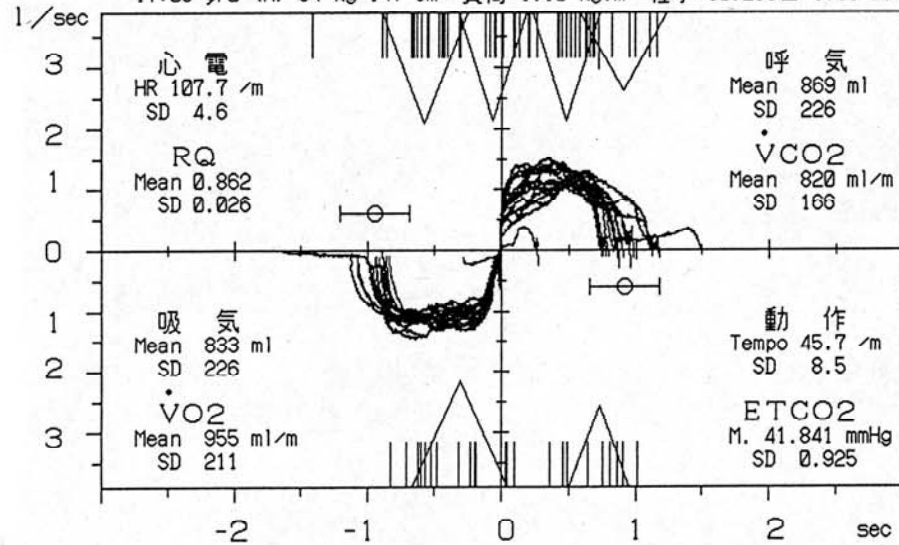


C-2. 7分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン



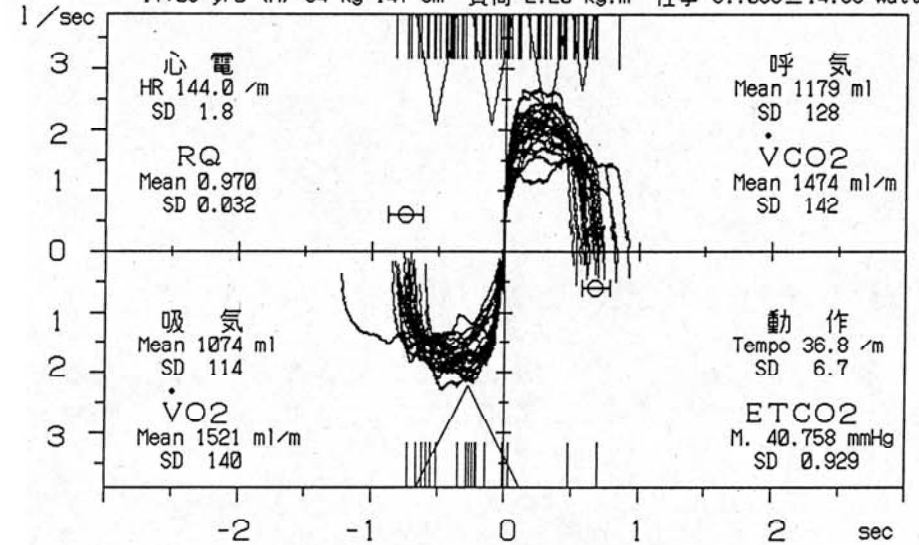
B-2. 3分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

[OD1](91- 107) 3分20秒- 3分50秒 呼吸 32.118±8.083/min 16 cycle
17:05 yrs (M) 54 kg 147 cm 負荷 1.10 kg.m 仕事 50.216±9.39 watt



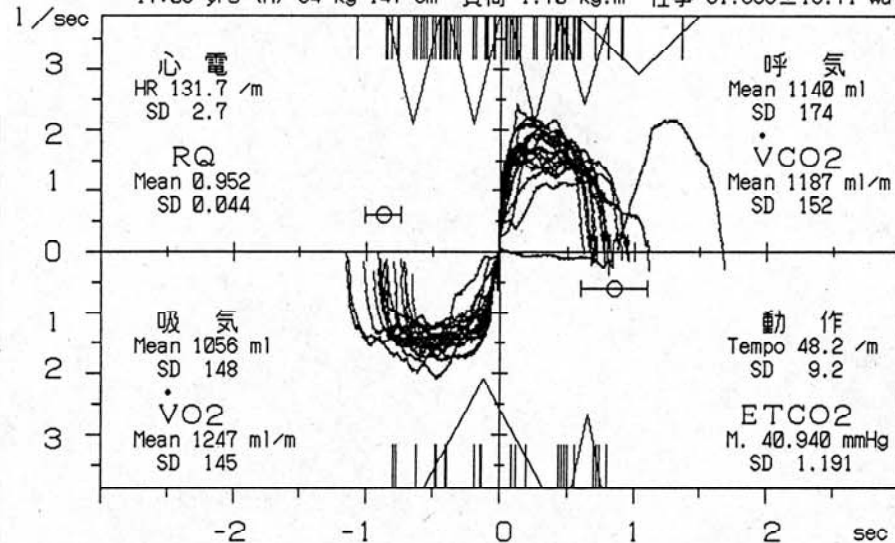
B-4. 7分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

[OD1](236- 257) 7分20秒- 7分50秒 呼吸 41.867±5.689/min 21 cycle
17:05 yrs (M) 54 kg 147 cm 負荷 2.20 kg.m 仕事 81.055±14.65 watt



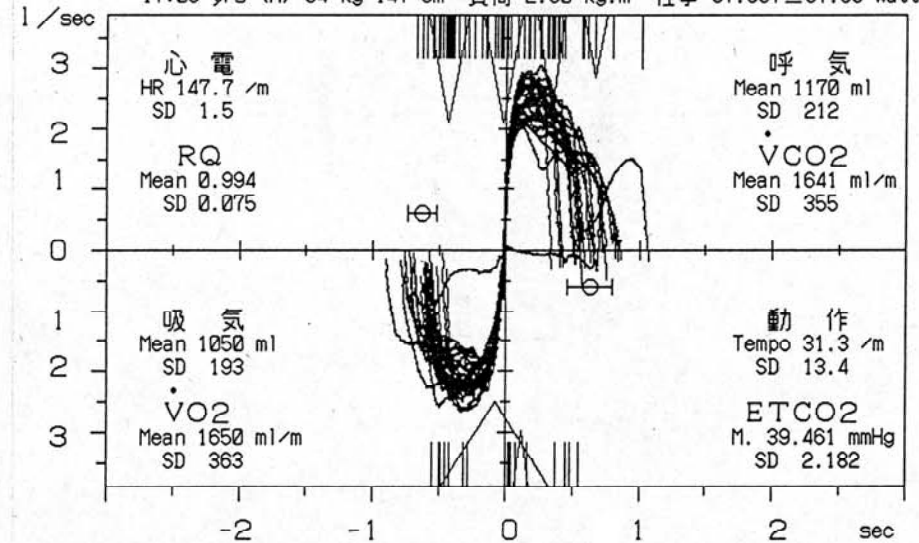
B-3. 5分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

[OD1](160- 177) 5分21秒- 5分50秒 呼吸 34.836±6.561/min 17 cycle
17:05 yrs (M) 54 kg 147 cm 負荷 1.70 kg.m 仕事 81.899±15.71 watt

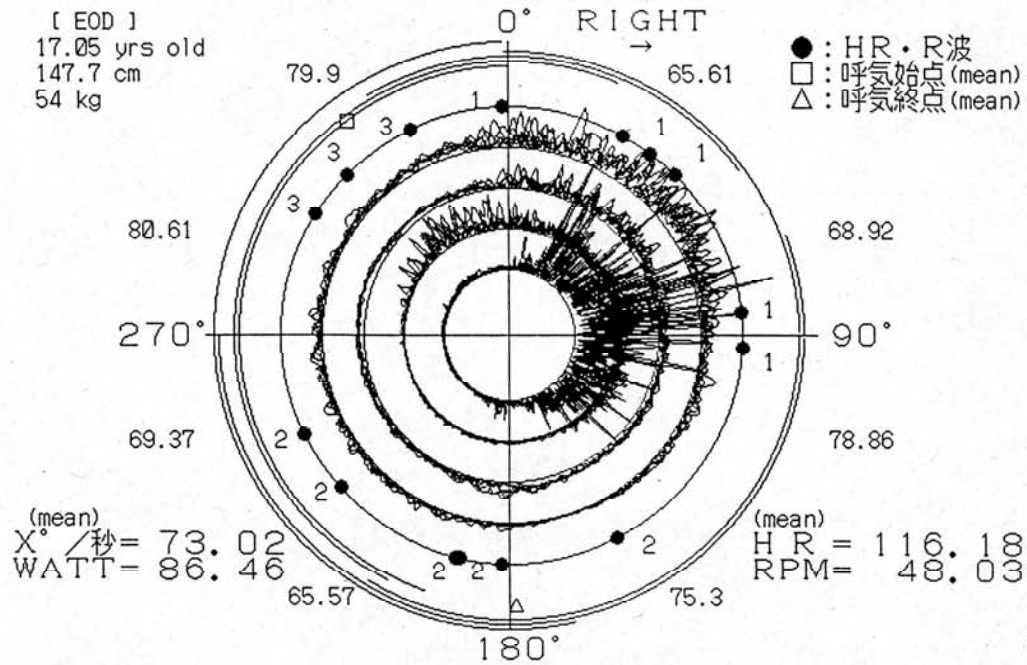


B-5. 9分20秒経過時 動作リズム・呼気ガス流量パターン

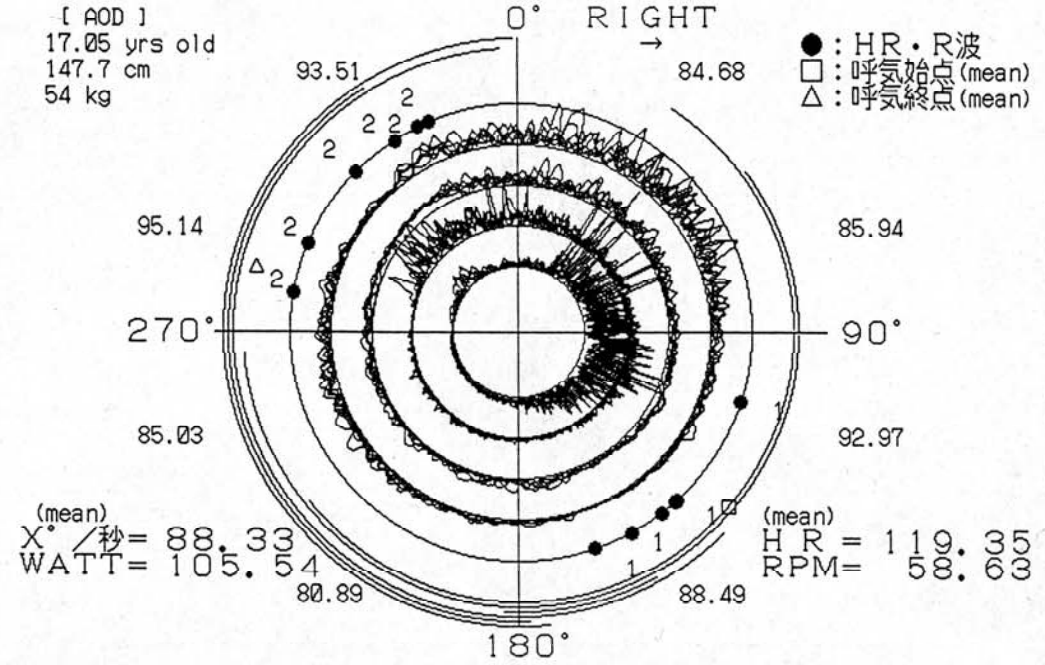
[OD1](321- 345) 9分20秒- 9分50秒 呼吸 47.658±8.434/min 24 cycle
17:05 yrs (M) 54 kg 147 cm 負荷 2.80 kg.m 仕事 87.637±37.65 watt



A-1. 筋電図学的分析 (自然呼吸)

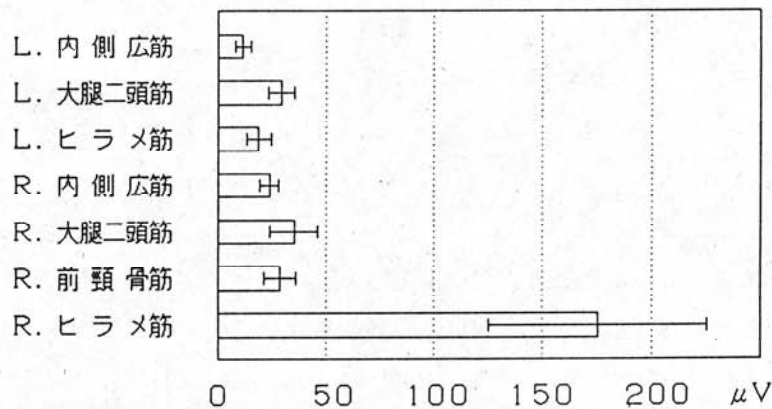


B-1. 筋電図学的分析 (右足踏み込み時呼吸)



※上筋電図は 右足ペダリング時で、0° は ペダル位置が最上段。各1分30秒前後、6サイクルを重ね書きした。内より、ヒラメ筋、前頸骨筋、大腿二頭筋、内側広筋、心電・R波時 (数字は、サイクル内の拍動の順番)、呼吸呼吸相時を示す。外側の数字は、45° 毎の角回転速度の平均値。

A-2. 60° ~ 120° 時筋放電比較 (自然呼吸)



B-2. 60° ~ 120° 時筋放電比較 (右足踏み込み時呼吸)

