

最大下作業における酸素負債量の個人内変動と 性周期について

藤埴規明, 大桑哲男, 三井淳蔵, 宇津野年一
小沢教子*

保健体育教室
(1979年9月8日受理)

Intraindividual Variation of Oxygen Debt as Related to Menstrual Cycle after Submaximal Bicycle Exercise.

Noriaki FUJITSUKA, Tetsuo OHKUWA, Junzo MITSUI,
Toshikazu UTSUNO and Noriko OZAWA*

Department of Health and Physical Education
(Received September 8, 1979)

Seven college women were tested during the three phases of menstrual cycle to assess the intraindividual variations of three kinds of oxygen debt measured by different methods, and also to determine if the cycle had an effect on oxygen debt. The subjects performed 8 min of constant-load exercise at 450 kg-m/min. The mean coefficient of variation in net, gross, and calculated oxygen debt were 16.4%, 5.4%, and 16.1%, respectively. The variation in gross oxygen debt was significantly the smallest among the three kinds of oxygen debt. Analysis of variance data indicated that the fluctuations in any kind of oxygen debt could not be attributed to the menstrual cycle.

目 的

酸素負債という概念は、回復期の余剰酸素摂取を表現する言葉として、1923年に Hill らにより最初に使用された。それ以来、この酸素負債量が、無酸素的な代謝過程や効率及び体力の研究といった見地から測定されてきた。その結果、最大作業時の酸素負債量が、65~248ml/kg の広い範囲に渡って測定されることがわかってきた (Hermansen ら, 1970, Robinson ら, 1958)。この発見は、酸素負債量の測定法に関する再検討をうながし、Graham & Andrew (1973), 黒田ら (1974), 斎藤ら (1978) 及び Roberts & Morton (1978) らにより、酸素負債量の再現性に関する研究が行われてきた。彼等の報告によると、作業強度によっても多少異なるが、酸素

負債量の日差変動は、変動係数 (C. V.) にして、約18% 程度のかかなり大きな変動を考慮する必要があることを示唆するものであった。ところが、この負債量の変動やその要因に関する検討は、いずれも男子を対象としたものに限られ、女子についての報告は見当たらない。そこで、本研究では、最大下作業における酸素負債量を、三つの異なった方法より算出し、その日差変動を観察するとともに、変動要因の一つと考えられる性周期の影響 (Petrofsky et al., 1976, Scott & Tuttle, 1932) について検討した。

方 法

被検者は、健康で正常な性周期を持つ女子7名で、そ

*名古屋女子大学

の身体的特徴と自転車エルゴメーターを用い、負荷漸増法により測定した最大酸素摂取量を表1に示した。

Table 1. Anthropometric and physiological data.

Subj.	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Max. $\dot{V}O_2$ (liters)
Y.K.	21	160.2	51.0	1.83
M.N.	22	154.0	50.5	2.06
T.S.	22	158.0	51.0	2.06
N.N.	22	155.5	53.0	2.09
K.H.	22	153.5	49.0	1.92
K.K.	22	155.5	53.0	1.72
K.S.	22	161.0	48.0	1.93

酸素負債量の測定は、基礎体温の測定により決定した性周期の排卵期 (ovulatory: O), 月経期 (flow: F), 黄体期 (luteal: L) の各期間中に一回づつ、計三回を同一被検者について行なった。

実験にあたっては、被検者に、実験前日の暴飲、暴食をさけ、7時間以上の睡眠を取り、実験当日は、少なくとも昼食後、1時間30分経過した後、実験室に来るよう指示した。実験室到着後は、約15分間休息した後、椅子に腰を掛けた座位姿勢で作業前の安静を35分間行なった。続いて、自転車エルゴメーターに乗り、5分間安静を保った後、50rpm \times 1.5kg/minのpedaling 作業を8分間行なった。回復は40分間としたが、作業終了直後の15分間は自転車に乗った状態で、その後の35分間は作業前の座位姿勢で安静を行なった。

酸素摂取量は、作業前の安静時から回復終了までの間、連続的に測定した。その際、換気量は、連続呼吸気量計 (フクダ製、CR-50型) で連続的に測定すると共に、呼吸気ガス中の酸素及び炭酸ガス濃度は、連続呼吸気量計のmixing chamberから吸引したガスを、シルコニウム式瞬時酸素ガス分析装置 (イギリス、モーガン社製、3A型)

と、赤外線式瞬時炭酸ガス分析装置 (オランダ、ゴダルト社製、モービル型) を用い連続的に分析した。なお、酸素ガス及び炭酸ガス分析装置は、ショランダー微量ガス分析器を用い較正した。安静時、作業中の酸素摂取量は1分間隔で、回復期0~2分までは15秒間隔、2~40分までは1分間隔で酸素摂取量を算出した。

上記の方法により求めた酸素摂取量をもとに、以下に述べる三つの異なる方法により、酸素負債量を求めた。

(1)、回復期40分間の総酸素摂取量からbase line (安静時酸素摂取量) を差引いた値、これを真の酸素負債量 (net oxygen debt: NOD) とする。(2)、回復期40分間のbase lineを含んだ総酸素摂取量、これを粗酸素負債量 (gross oxygen debt: GOD)。(3)、回復期の酸素摂取量の動態を、 $y=Ae^{-kt}+C$ (y : 時間 t における酸素摂取量、 k : 速度定数、 C : 酸素摂取量が定常状態に達したと推定される時点の値) なる式で近似し、 A, k, C の各定数の決定にあたっては、実測した酸素摂取量から、最小自乗法により決定した。算出には、computer (NOVA 1200) を使用した。したがって、数式から求めた酸素負債量 (calculated oxygen debt: COD) は、上式から A/k として与えられる。

なお、性周期が酸素負債量に与える影響については、分散分析法により検定した。

結 果

表2は、各被検者の行なった作業の負荷強度とその平均値を示す。すなわち、本実験の各被検者が行なった作

Table 2. Intensity of work load in percent of Max. $\dot{V}O_2$

Subj.	Y.K.	M.N.	T.S.	N.N.	K.H.	K.K.	K.S.	mean
intensity (Max. $\dot{V}O_2$ %)	65	56	55	59	61	58	60	60.4

Table 3. Individual and mean values of net oxygen debt.

Subj.	O (liters)	F (liters)	L (liters)	mean (liters)	\pm S. D.	C. V. (%)
Y. K.	2.52	1.63	1.51	1.89	0.45	23.8
M. N.	1.27	1.41	1.69	1.46	0.17	11.6
T. S.	1.81	1.73	1.89	1.81	0.07	3.9
N. N.	0.99	1.71	1.29	1.33	0.30	22.6
K. H.	1.43	1.94	1.97	1.78	0.25	14.0
K. K.	2.79	2.15	2.21	2.38	0.29	12.2
K. S.	1.46	2.87	2.48	2.27	0.59	26.4
mean	1.75	1.94	1.86			16.4
\pm S.D.	0.62	0.44	0.38			

O: Ovulatory, F: Flow, L: Luteal, C.V.: Coefficient Variation

業強度は、最大酸素摂取量の55～65%の範囲にあり、平均60.4%であった。

表3は、各性周期中に測定されたNODとその平均値、標準偏差及びC.V.を7名の被検者について示したものである。各被検者のC.V.値は、3.9～26.4%の範囲にあり、平均16.4%であった。最も小さなC.V.値を示した被検者T.S.では、酸素負債量の最小値は1.73l、最大値は1.89lで、最大値は最小値の約1.1倍にすぎない。それに反して、最も大きなC.V.値を示した被検者K.S.では、酸素負債量は、最小値が1.46l、最大値が2.87lで、最大値は最小値の約2倍の値を示した。

次に、酸素負債量の大小と性周期の関係を見ると、被検者N.N.とK.S.では $F > L > O$ であるが、被検者Y.K.では $O > L > F$ といった関係を示し、各被検者に共通した傾向は認められなかった。さらに、平均値でみると $F > L > O$ といった傾向を示すが、この大小関係も有意な

ものでなかった。

表4は、GODの結果を整理したものである。各被検者のC.V.値は、1.2～8.8%の範囲にあり、平均5.4%であった。最も小さなC.V.値を示した被検者K.H.のGODは、最小値が10.29l、最大値が10.63lで、その差僅か0.34l、最大値は最小値の約1.03倍であった。また、最も大きなC.V.値を示した被検者Y.K.のそれは、最小値が9.54l、最大値11.76lで、その差は2.22l、最小値の約1.2倍であった。

各性周期に測定されたGODの各個人の値、及び7名の平均値からみた大小関係は、性周期に依存した傾向を示さなかった。

図1は、各性周期の回復期に実測された酸素摂取量と実測値から求めた式($y = Ae^{-kt} + C$)が描く曲線と、どの程度一致するかを被検者S.T.の例について示したものである。各期とも、5分以後の実測値にばらつきが見ら

Table 4. Individual and mean values of gross oxygen debt.

Subj.	O (liters)	F (liters)	L (liters)	mean (liters)	± S.D.	C. V. (%)
Y. K.	11.76	9.54	10.26	10.52	0.93	8.8
M. N.	10.21	11.03	10.51	10.58	0.34	3.2
T. S.	10.21	10.71	9.39	10.10	0.54	5.3
N. N.	9.44	9.72	10.45	9.87	0.43	4.4
K. H.	10.51	10.29	10.63	10.46	0.18	1.2
K. K.	10.18	11.55	9.60	10.44	0.82	7.9
K. S.	9.50	11.21	10.69	10.47	0.72	6.9
mean	10.26	10.58	10.22			5.4
±S.D.	0.71	0.70	0.48			

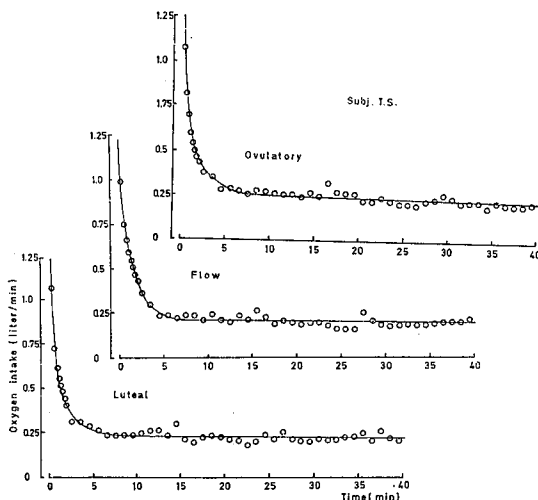


Fig. 1. Fitting curves in the three phases of menstrual cycle.

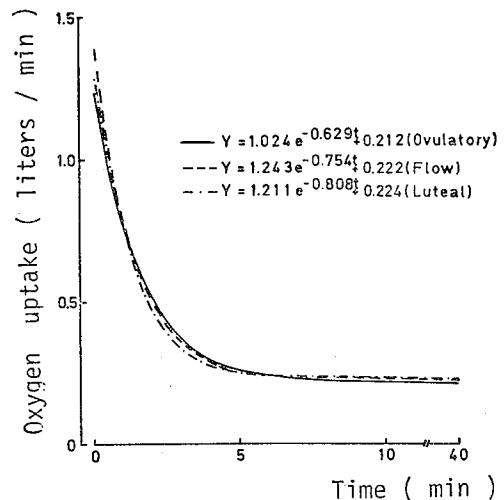


Fig. 2. Mean exponential curves in the three phases of menstrual cycle.

れ、曲線と一致しない値もあるが、全体にはよく一致し、 $y=Ae^{-kt}+C$ なる式が酸素摂取量の動態をよく反映している。この傾向は、他の6名の被検者においても同様にみられた。

表5は、各性周期の $y=Ae^{-kt}+C$ 式の各定数値を7名の被検者について整理したものであり、図2は、各性周期における7名の平均曲線を示したものである。Aの値は、0.729~1.725、 k の値は、0.402~0.958、そして、

Table 5. The results of the fitting process using equation ($y=Ae^{-kt}+C$)

Subj.	menstrual cycle	A	k	c
Y. K.	O	0.958	0.411	0.229
	F	1.707	0.958	0.212
	L	1.159	0.869	0.165
M. N.	O	1.167	0.863	0.156
	F	1.518	0.802	0.246
	L	1.725	0.913	0.233
T. S.	O	1.083	0.653	0.238
	F	0.982	0.573	0.203
	L	0.980	0.682	0.230
N. N.	O	0.887	0.919	0.220
	F	1.492	0.878	0.213
	L	1.301	1.191	0.231
K. H.	O	1.089	0.538	0.225
	F	1.027	0.552	0.245
	L	1.398	0.838	0.232
K. K.	O	1.253	0.615	0.218
	F	0.927	0.647	0.184
	L	1.118	0.562	0.252
K. S.	O	0.729	0.402	0.201
	F	1.045	0.870	0.248
	L	0.796	0.600	0.227
mean (\pm S.D.)	O	1.024 (0.165)	0.629 (0.188)	0.212 (0.025)
	F	1.243 (0.294)	0.754 (0.150)	0.222 (0.023)
	L	1.211 (0.279)	0.808 (0.210)	0.224 (0.025)

Table 6. Individual and mean values of calculated oxygen debt.

Subj.	O (liters)	F (liters)	L (liters)	mean (liters)	\pm S. D.	C.V. (%)
Y.K.	2.33	1.78	1.33	1.81	0.41	22.7
M.N.	1.35	1.89	1.89	1.71	0.25	14.6
T.S.	1.66	1.71	1.44	1.60	0.12	7.5
N.N.	0.97	1.70	1.09	1.25	0.32	25.6
K.H.	2.03	1.86	1.67	1.85	0.15	8.1
K.K.	2.04	1.43	1.99	1.82	0.28	15.4
K.S.	1.82	1.20	1.33	1.45	0.27	18.6
mean \pm S.D.	1.74 0.43	1.65 0.23	1.53 0.30			16.1

Cの値は0.156~0.252の範囲にあり、 k の値がかなり広い範囲となっている。また、 A , k , C の各値の大小と各性周期の関係については、各被検者に共通した傾向は認められなかった。さらに、図2に示したごとく、各性周期における7名の平均曲線に多少の違いがみられるが、これも統計的に有意なものではなかった。

そこで、表5に示した結果をもとに、 A/k の値、すなわちCODの値を求めた。表6は、各被検者のCODとその平均値、標準偏差、C.V.値及び7名のそれぞれの平均値を示す。酸素負債量の各個人の平均値は、1.45~1.85lの範囲にあり、C.V.値は7.5~25.6%の範囲で、平均16.1%であった。最も小さなC.V.値を示した被検者T.S.では、最小値が1.44l、最大値が1.71lで、最大値は最小値の約1.2倍となっている。最も大きなC.V.値を示した被検者N.N.では、CODの最小値が0.97l、最大値が1.70lで、最大値は最小値の約1.8倍であった。

また、被検者Y.K.とK.H.では、CODは $O > F > L$ 、被検者K.K.とK.S.では、 $O > L > F$ といった大小関係にあり、各被検者に共通した傾向はみられなかった。同様に、7名の平均値でも、 $O > F > L$ という結果であったが、統計的に有意なものではなかった。

考 察

これまでに報告されている酸素負債量の日差変動についてみると、男子を被検者とした最大作業時のものであるが、本研究でのCODに相当する斉藤ら(1978)の報告では、C.V.値にして約21%である。これに対して、NODに相当する黒田ら(1978)のそれは約11%で、斉藤らの値に比べてかなり低い値となっている。このことは、酸素負債量の算出方法によりC.V.値にかなりの差が生ずることを暗示している。事実、本実験の結果も、最大下作業であるが、NODの日差変動はC.V.値にして、16.4%、GODのそれは5.4%、CODのそれは16.1%であり、NODとCODのC.V.値には差は認められなかったが、GODのC.V.値は、5.4%で、三者のうち一番小さな値を示した($p < 0.01$)。この結果については、NODとCODはいずれも回復期の総酸素摂取量から、base lineの値を差引いた値であり、酸素負債量変動の主因と考えられているbase lineの変動が大きく影響したため、base lineの変動に関与しないGODのC.V.値より約3倍の変動係数になったものと解される。

著者ら(1977)は、先に、男子を対象とした、最大下作業時の酸素負債量の日差変動について報告したが、本実験のNODに相当するC.V.値は13.3%で、16.4%という女子の値の方がやや高い値であるように思われる。

なお、本実験におけるCODの算出に当って、回復期の酸素摂取量の動態を $y = Ae^{-kt} + C$ といった一つの指数関数からなる式で近似する時に、実測値と最も良く一致した。本実験の作業強度は、結果で示したように、55~65% $\dot{V}O_{2max}$ の範囲にあり、最も作業強度の低い被検者T.S.の血中乳酸濃度は、図3に示したように、peak値で各性周期とも安静値の約3倍の血中乳酸濃度が観察され

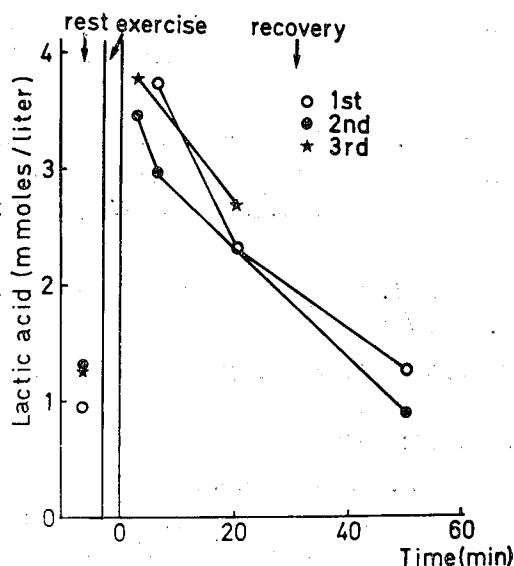


Fig. 3. Blood lactate concentration in the three phases of menstrual cycle after submaximal bicycle work.

た。これらの条件から考えると、Margariaら(1933)が述べているように、回復期の酸素摂取量の動態は、二つの指数関数の和からなる式($y = Ae^{-k_1t} + Be^{-k_2t} + C$)で近似されるはずであるが、本実験の結果は、予測に反したものであった。この点に関しては、Brooksら(1971)が述べているように、回復期の酸素負債量を alactic と lactic といった二つの要素のみで考えることに矛盾があり、Margariaらの古典的な解釈に対して、再考の余地があることを示唆している。

次に、酸素負債量の変動要因の一つではないかと考えた性周期の影響について検討した結果、三つの方法から算出した酸素負債量は、性周期に伴うホルモン等の生体内の変化に条件づけられていない、すなわち、性周期が酸素負債量変動の主たる要因でないことがわかった。しかしながら、酸素摂取水準が性周期に伴うホルモン等の変化に影響されるという報告(Scott & Tuttle, 1932)は少ないにしても、体温や循環系(King, 1914)及び作業成績に影響を及ぼす(Petrofsky et al., 1967)という報告があり、性周期に伴う生体内の生理学的変化が、何らかの

形で酸素負債量の変動に影響を及ぼしていることが予測される。しかし、その影響が極めて微々たるものであるため、明確な形として反映されなかった可能性も十分考えられる。

参考文献

- Brooks, G.A., Hitterman, K.J., Faulkner, J.A. & Beyer, R.E. (1971) Temperature, skeletal muscle mitochondrial functions, and oxygen debt. *Amer. J. Physiol.*, 220 (4) : 1053-1059
- Fujitsuka, N., Saito, M., Miyamura, M. & Matsui, H. (1977) Intraindividual variation of oxygen debt during submaximal bicycle work. *J. Physiol. Soc. Japan*, 39 : 500-502
- Hermansen, L. (1969) Anaerobic energy release. *Med. Sci. Sports*, 1 : 32-38
- Hill, A. V. & Lupton, H. (1923) Muscular exercise, lactate and the supply and utilization of oxygen. *Quart. J. Med.*, 16 : 135-171
- Graham, T.E. & Andrew, G.M. (1973) The variability of repeated measurements of oxygen debt in man following a maximal treadmill exercise. *Med. Sci. Sports*, 5(2) : 73-78
- King, J.L. (1914) Concerning the periodic cardio-vascular and temperature variations in women. *Amer. J. Physiol.*, 34 : 203-219
- 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 鈴木洋児, 伊藤静夫 (1974) 最大酸素負債量の測定法に関する研究—第3報—, 最大酸素負債量の個人内変動について, 昭和49年度協スポーツ科学報告 : 1-19
- Margaria, R., Edwards, H.T. & Dill, D.B. (1933) The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and role of lactic acid in muscular contraction. *Amer. J. Physiol.*, 110 : 689-715
- Petrofsky, J. S., LeDonne, D. M., Rinehart, J. S. & Lind, A. R. (1976) Isometric strength and endurance during the menstrual cycle. *Europ. J. appl. Physiol.*, 35 : 1-10
- Roberts, A.D. & Morton, A.R. (1978) Total and alactic oxygen debts after supramaximal work. *Europ. J. appl. Physiol.*, 38 : 281-289
- Robinson, S., Robinson, D.L., Mountjoy, R.J. & Bullard, R.W. (1958) Influences of fatigue on the efficiency of men during exhaustive runs. *J. Appl. Physiol.*, 12 : 197-201
- 斉藤満, 藤埴規明, 大桑哲男, 宮村実晴, 池上康男, 松井秀治 (1978) 回復期酸素摂取からみた最大酸素負債量の解析, 日本体育学会第29回大会号, pp. 306
- Scott, G. & Tuttle, W.W. (1932) The periodic fluctuation in physical efficiency during the menstrual cycle. *Res. Quart.*, 3 : 137-144