

Ergometer 負荷量と疲労反応の関係について

岡山大学医学部公衆衛生学教室（主任：故大田原一祥教授）

助 教 授	緒	方	正	名
大学院学生	只	友	淳	雄
専 攻 生	吉	本	弘	満
”	三	島	四	郎
”	佐	藤	和	人
”	木	村		晋
”	横	山		衛
”	小	林	喬	三
”	進	藤	貞	義
技 術 員	人	見		硬

〔昭和 37 年 2 月 27 日 受稿〕

緒 論

Donaggio 反応¹⁾、尿蛋白を用いる疲労判定法²⁾³⁾⁴⁾は生化学的疲労判定法のうちでは簡便であり且集団疲労の判定には有効な方法と考えられている。これらの方法は乳酸、焦性ブドウ酸、磷酸等による疲労判定法に比較すれば比較的労作量に鋭敏に反応するが⁵⁾、尚かつ急性疲労に著明に反応し慢性疲労の場合には著明でない欠点を有する事が経験的に言われて来た。

本研究は自転車エルゴメーターによる作業負荷の際の生理的変動と各種疲労反応を同時に測定し、作業量と疲労反応の関係を明らかにしたものである。

実 験 方 法

A) 労作負荷の方法

成人男子を被検者とし、自転車エルゴメーターを用い 50 kg の負荷をあたえ、1 分間平均 90 回転の速度で 10 分間作業を行なわしめたもの 5 名を A 群とし、50 kg の負荷のもとに 1 分間平均 60 回転の速度で 30 分間作業を行なつたもの 3 名を B 群とした。

B) 生理的変動値の測定

下記の各項目について、作業開始前より作業終了後測定値が平常に復するに至る迄の期間についての測定を行なつた。

1. 呼吸数及び呼吸量の測定

呼吸数は被検者自から計数器を用いて測定させた。

呼吸量は被検者の呼気をダグラス囊 (100 l, 労研製) に採取し、その量は乾式ガスメーター (柴田製) を用いて測定し標準状態に換算した。

2. 脈搏及び血圧の測定

脈搏は橈骨動脈を用い 1 分間測定し、血圧は Tycos 氏血圧計をもつて測定した。

C) 疲労反応の測定

尿は作業前、作業直後、作業後 30 分、1 時間、2 時間、4 時間の各尿を採取し疲労反応を行ない、フリッカー値は作業前、作業後 30 分迄の各時期に測定を行なつた。

1. 尿蛋白量の測定

Kingsbury-Clark 氏法⁶⁾を使用した。

2. Donaggio 反応

佐藤氏標準法⁷⁾に従つた。

3. 神明反応

米津の変法⁸⁾によつた。

4. 沃化水銀反応

山添の変法⁹⁾に従つた。

5. フリッカー値の測定

フリッカー値測定器 (柴田製) を使用した。

実 験 結 果

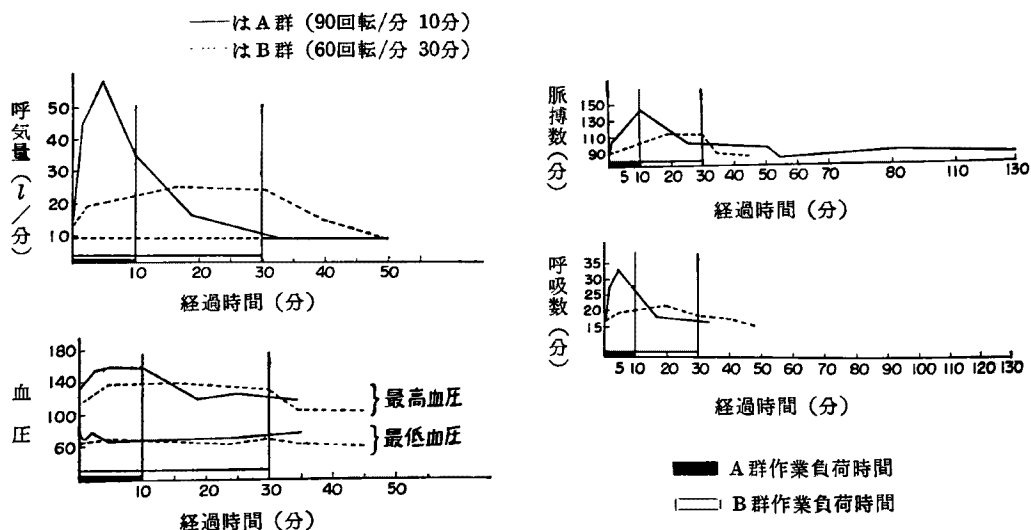
作業負荷前後の生理的変動値は〔第 I 表〕及び〔第 1 図〕に示す如くである。

呼吸量は A 群では作業開始前 10.11 l/分であり、作業開始後 5 分間で最高値 (57.86 l/分) に達し、

第 I 表 エルゴメーター負荷後の生理的変動

	経過時間	呼吸量 (l/分)	血 圧		脈搏数 (分)	呼吸数 (分)
		M±σ	最 高	最 低	M±σ	M±σ
			M±σ	M±σ		
A 群 (90 回転 / 分 ↓ 10 分)	作 業 開 始 前	10.11± 5.6	129.0±20.0	73.8± 7.0	77.2± 4.2	16.0± 2.1
	作業開始後 2 分	44.82± 8.5	156.7±26.0	66.7± 9.4	106.0±16.0	29.2± 9.2
	作業開始後 5 分	57.86±14.1	169.0±17.0	70.0± 8.9	120.0±17.0	34.6±11.7
	作業終了直後	34.68± 9.4	168.4±24.0	62.4±15.0	147.2±17.0	30.2±10.6
	作 業 後 10 分	16.44± 3.2	120.0±14.0	66.3±14.0	112.6± 7.4	19.3± 2.2
	作 業 後 15 分	13.40± 3.2	121.7± 6.0	68.3± 6.0	103.0±11.0	18.8± 3.3
	作 業 後 20 分	8.92± 1.7	127.0±11.0	76.0± 6.0	94.0± 4.0	17.0± 1.0
	作 業 後 25 分					
	作 業 後 40 分					
	作 業 後 60 分					
	作 業 後 80 分					
B 群 (60 回転 / 分 ↓ 30 分)	作 業 開 始 前	8.87± 0.8	111.3±13.0	63.3± 4.7	82.7± 4.9	17.0± 1.0
	作業開始後 2 分	19.25± 1.2	135.0± 5.0	72.0± 8.0	94.5±22.5	16.0± 1.0
	作業開始後10分					
	作業開始後15分					
	作業開始後20分	23.82± 1.4	141.0± 1.0	69.0±13.0	108.5±18.5	17.7± 3.0
	作業終了直後	24.20± 4.8	128.0±18.0	71.3±11.0	108.3±18.2	18.0± 3.0
	作 業 後 5 分	115.0± 5.0	70.0±10.0	86.5± 9.5		
	作 業 後 10 分	14.18± 1.3	113.0±11.0	69.0±11.0	81.0± 5.0	16.0± 1.0
	作 業 後 15 分					
	作 業 後 20 分	9.12± 0.4				

第1図 エルゴメーター負荷後の生理的変動



作業終了直後は 34.68 l/分で作業後 20 分で作業前迄回復している。B 群では作業前 8.87 l/分であり次第に増加し、作業終了直後最高値 (24.20 l/分)

に達し、作業後 20 分ではほぼ作業前の値に回復している。

最高血圧は A 群では作業前 129 mm 水銀柱であり作

業開始後5分で最高値(169 mm水銀柱)に達し作業終了迄は概ねこの値を維持するが、作業終了後10分で120 mm 水銀柱となり一時的に平常値より下がる傾向を示し作業終了後25~40分で平常値に復している。最低血圧は作業開始前73.8 mm 水銀柱で作業中低下の傾向を示し、そのために更に脈圧の増大が認められる。なお作業終了直後に於いて62.4 mm 水銀柱の最低値を示しその後漸次増大し作業後25~80分で平常値に復している。B群の最高血圧は作業前111 mm 水銀柱であり作業後15分でやや上昇し作業後20分にして最高値(141 mm 水銀柱)を示し、作業終了迄著しい変動なく作業終了直後にもA群に於ける如く一時低下の傾向は認められず作業後15~20分で平常値に回復している。最低血圧の変動は殆んど認められない。

脈搏数はA群では作業前77.2、作業開始後漸次増大し作業直後に最高値(147.2)を示し、作業後10分で急激に減少し112.6を示し作業後60~80分で平常に回復している。B群は作業前82.7で作業後20分にして最高値(108.5)に達し、その後作業終了迄概ねこの値を持続し作業後15分で作業前の値に回復した。

呼吸数はA群では作業開始前16.0であるが作業開始後急激に増加し5分間で最高値(34.6)を示したが、その後徐々に減少し作業終了直後30.2を示し、作業終了後25分で平常に回復している。B群では増加は極めて少なく、作業前17.0より終了直後17.7に増加したに止まる。

呼吸量及び呼吸数の変動から考えればA群は作業後5分間に於いて既に運動能力の限界に達し以後は作業低下の現象が認められている。B群ではこの現象はさほど顕著でない。

作業負荷前後の疲労反応は〔第Ⅱ表〕及び〔第2図〕に示す如くである。

Donaggio 反応はA群では作業前の3.6点より作業終了直後は13.2点で徐々に増加し30分後に極大(15.2点)に達している。作業後120分では5.2点であり未だ平常に復していない。B群では作業直後には変動なく4.0点作業後30分で(5.3点)に達し作業後120分でもとの値に復しているが、A群に較べれば Donaggio 点数の増加は極めて少ない。

神明反応はA群では作業前2.0点より作業終了直後では4.2点に増加し30分後には最高値(4.4点)に達し4時間にしてほぼ平常に復している。B群では作業前2.5点より作業終了直後2.8点、30分後に最高値(3.2点)に達し2時間で平常値2.2点に復している。

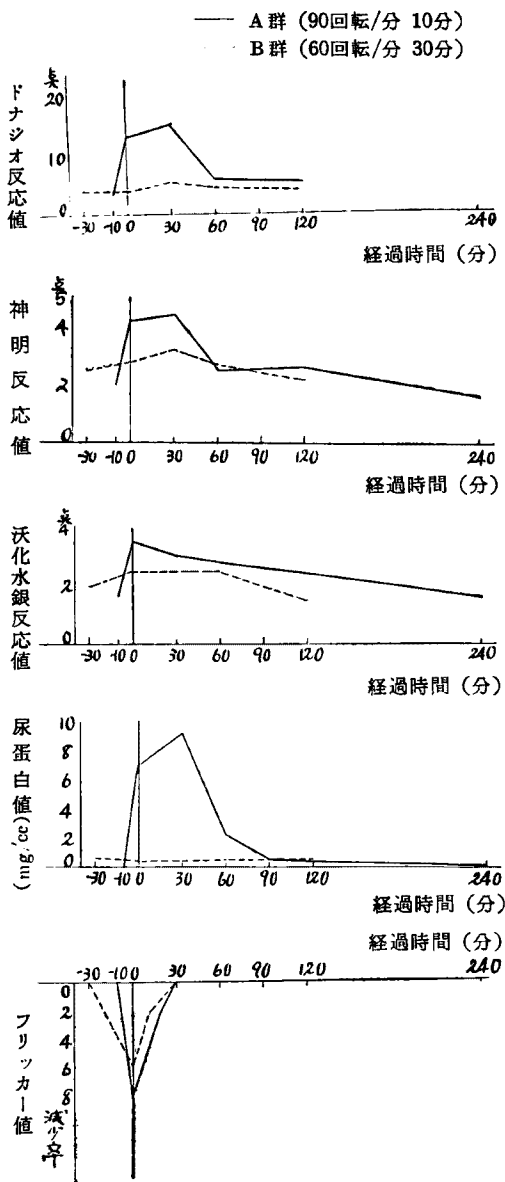
沃化水銀反応はA群では作業前1.7点より作業終了直後3.5点、30分後にはむしろ下つて3.0点であり、作業後4時間にして作業前の値に復している。B群では作業前2.0点、作業終了直後2.5点、30分後も2.5点で2時間にして平常値に復している。

尿蛋白はA群では作業前0.25 mg/ccより作業終了直後急激に増加して7.07 mg/cc、30分後に9.20 mg/ccに達し4時間後も完全には回復していない。B群では意義のある変動は認められない。

第Ⅱ表 エルゴメータ負荷後の疲労反応

	経過時間	ドナジョ反応 点 数	神 明 反 応 点 数	沃化水銀反応 点 数	尿 蛋 白 値 mg/cc	フ リ ッ カ ー 値 減 少 率	
		M±σ	M±σ	M±σ	M±σ	経 過 時 間	M±σ
A群 90 回 転 ／ 分 ↓ 10 分	作業前10分	3.6±1.49	2.0±1.00	1.7±0.81	0.25±0.16	作業前10分	0
	作業終了直後	13.2±6.40	4.2±1.12	3.5±0.22	7.07±3.36	作業終了直後	8.0±3.6
	作業後30分	15.2±5.30	4.4±0.92	3.0±0.22	9.20±6.80	作業後10分	4.7±3.5
	作業後60分	5.6±3.30	2.5±0.14	2.8±0.50	2.22±1.72	作業後20分	2.0±1.2
	作業後120分	5.2±0.97	2.6±0.66	2.4±0.86	0.45±0.14	作業後30分	0
	作業後240分		2.1±0.62	1.6±0.47	0.37±0.50		
B群 (60 回 転 ／ 分 ↓ 30 分)	作業前30分	4.0±1.60	2.5±1.20	2.0±1.0	0.56±0.46	作業前30分	0
	作業終了直後	4.0±1.60	2.8±0.50	2.5±0.5	0.40±0.22	作業終了直後	5.8±4.5
	作業後30分	5.3±0.94	3.2±0.50	2.5±0.5	0.40±0.22	作業後10分	2.3±2.0
	作業後60分	4.7±0.94	2.7±0.50	2.5±1.5	0.49±0.45	作業後20分	2.0±0.8
	作業後120分	4.0±2.00	2.2±0.50	1.5±1.5	0.48±0.85	作業後30分	0

第2図 エルゴメーター負荷後の疲労反応



フリッカー値減少率はA群では作業直後(8.0%)減少し、その後回復は早く作業後10分にして4.7%, 20分にして2.0%, 30分にしてもとに回復している。B群では作業直後最高値(5.8%)に、作業後10分にして2.3%迄、更に作業後30分にして作業前の値にまで回復している。

総括並びに考按

1. 生理的変動について

1分間90回転10分間負荷のA群と1分間60回転30

分間負荷のB群とでは、呼吸量の増大の総和はA群対B群の値が1対1.09であるが時間当りの呼吸量ではA群はB群より明らかに大である。また作業時間はB群はA群の3倍の値を示す。エネルギー代謝率が呼吸量と、ある程度の相関があるので、A群とB群の差は時間当りの労作量の差が主因と考えられる。

最高血圧の変動はA群に於いて著明であり脈搏数、呼吸数の変動も同様であつて、結論として自転車エルゴメーター負荷の際には負荷量の増大によつて時間当りのエネルギー量の大であることが呼吸系は勿論血管系の生理的変動値に対しても強く作用していると考えられる。

2. 疲労反応の変動について

A群に於けるDonaggio反応、神明反応、尿蛋白量は作業直後に著しく増大し、更に30分後にも多少増加の傾向が認められる。これらは運動の後影響が尿に現われるには作業後より30分後に至る間が最も大であることを意味するものである。フリッカー値が作業後30分後には概して作業前の値に復している事実は生理的機能としてのフリッカー値が他の生理的変動の回復と同様に回復が早いことを示している。この事実はB群に於いてもほぼ同様であり尿疲労反応は30分後が高く、フリッカー値は30分後にはもとに復している。即ち尿疲労反応による疲労測定の際には尿の採取は作業直後か、むしろ30分後の方が適当であり、フリッカー値は作業直後少なくとも1分間以内に測定する必要があることを示すものと思われる。

Donaggio 反応、神明反応、尿蛋白値に較べて沃化水銀反応のみが作業直後に高い事は反応陽性物質の異なるためと考えられる。

私共は Donaggio 反応陽性物質は作業後に尿中に出現する血清蛋白のうちで α_1 -Globulin を定量しているものであり、神明反応は α_2 及び β -Globulin の一部を定量しているものであることを明らかにしたが⁶⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾、以上の2反応及び尿蛋白値が作業後平行して変動することはこれと一致した所見であると考えられる。

B群の各尿疲労反応値がA群に較べて極めて低いことは急激な作業負荷によつてある種の不均衡が生体に生じて始めて尿中にこれらの反応物質が出現することを意味するものであり、私共が疲労時の尿ムコ蛋白の出現の原因として人体及び動物実験の結果より Acidosis, 血圧上昇, 副腎皮質ホルモンの分泌増加等としている見解⁶⁾¹³⁾と一致する。

これらの結果を総括すると尿疲労反応に対する影

響は作業時間よりも単位時間当りの労作量が大であり、従つて身体に Acidosis 等の不均衡の起ること、心臓、呼吸系の生理的変動の大であることが重要な因子であると推定される。

結 論

自転車エルゴメーターを用い 50 kg 負荷毎分 90 回転 10 分間の作業群を A 群、同じ負荷をあたえ毎分 60 回転 30 分間の作業群を B 群として、両群の生理的変動値、尿疲労反応値、フリッカー値を比較測定し以下に示す如き成績を得た。

1) 呼吸数、呼吸量の変動は A 群に於いては極めて急激に増加し作業開始後 5 分にして最高値に達し、その後は作業終了後迄機能低下による減少を示している。B 群は A 群に較べて作業中はほぼ一定の値を保持し作業後の回復も早い。血圧及び脈搏の増加も A 群は B 群に較べて相当著しい。

2) A 群においては尿疲労反応は Donaggio, 神明, 沃化水銀反応及び尿蛋白値いずれも作業後著明に増

大し 4 時間後に作業前の値に復する。B 群では作業後の疲労反応の増大は少ない。A, B 両群いずれも尿疲労反応は作業直後に高く作業後 30 分で最高値に達する。沃化水銀反応のみは作業直後が最高値を示す。

3) フリッカー値減少率は作業直後に最高値を示しその後の回復はすみやかであり 30 分で作業前の値に復する。

4) 以上の成績より尿疲労反応の出現には時間当りの作業負荷量の因子の方が作業時間の因子よりも大であり、尿疲労反応は生理的変動のために生体内にある種の不均衡（例えば Acidosis）が起つた際に出現するものであつて、その出現は作業後よりむしろ約 30 分おくられて現われるものと考えられる。

稿を終るに臨み、御指導を賜つた故大田原一祥教授に深謝致します。

（本論文の要旨は昭和 32 年 5 月、第 473 回岡山医学会通常例会に於いて発表した）。

文 献

- 1) Donaggio, A.; Bull. Soc. Ital. Biol. Sper., 8, 1436, 1933.
- 2) 緒方益雄, 大田原一祥, 岡村岩男; 疲労判定法, 61, 学術研究会議疲労研究会編, 1947.
- 3) 石川知福; 疲労判定法, 72, 学術研究会議疲労研究会編, 1947.
- 4) 緒方正名; 日本衛生学雑誌, 13 (5), 68, 1958.
- 5) 緒方正名; 産業医学, 3 (3), 156, 1961.
- 6) Kingsbury & Clark; J. Lab. Clin. Med., 11, 981, 1926.
- 7) 佐藤徳郎; 体育研究, 8, 56, 1941.
- 8) 米津穆; 医学と生物学, 28 (6), 277, 1953.
- 9) 山添三郎, 清宮寛, 後藤茂, 日向野武; 医学と生物学, 35 (1), 29, 1955.
- 10) 緒方正名, 望月義夫; 日本衛生学雑誌, 13 (2), 15, 1958.
- 11) 緒方正名, 望月義夫; 日本衛生学雑誌, 13 (2), 22, 1958.
- 12) 緒方正名, 望月義夫; 日本衛生学雑誌, 13 (2), 28, 1958.
- 13) 田辺昇平; 岡山医学会雑誌, 71 (10), 6463, 1959.

The Relation between Load and Fatigue Reaction by Means of Bicycle Ergometer

By

Masana OGATA,
Atsuo TADATOMO,
Hiromitsu YOSHIMOTO,
Shiro MISHIMA,
Kazuto SATO,
Susumu KIMURA,
Mamoru YOKOYAMA,
Kyoza KOBAYASHI,
Sadayoshi SHINDO,
and
Katashi HITOMI

Department of Public Health, Okayama University Medical School

With the aid of bicycle ergometer physiological changes, urinary fatigue reactions and flicker values were estimated and their values were compared on group A given the work on a bicycle with a load of 50 kg at 90 r. p. m. for 10 minutes and group B with the same load but 60 r. p. m. for 30 minutes, and the following results were obtained.

1) The number of respiration and the volume of expiration increased very rapidly in group A, reaching their maximum values after the commencement of the work and thereafter these values decreased up to the cessation of the work due to the functional decrease. Group B maintained these values steadily at a fixed point and the recovery from the physical change was more rapid as compared with group A. The increase in blood pressure and number of pulsation in group A was considerably more marked than that in group B.

2) In group A the urinary fatigue reactions showed a marked increase in all of Donagio, Shinmei, mercuric iodide, and urinary protein reactions after the start of work, and these values recovered back to the values before the work four hours after stopping the work. The increase in the fatigue reactions after the work is relatively less in group B. Urinary fatigue reactions in both group A and group B are high immediately after the work, reaching their maximum 30 minutes after the cessation of the work. The values of mercuric iodide reaction alone, however, are at the maximum immediately after the work.

3) The rate of decrease in the flicker values reaches its maximum immediately after the work, and the recovery thereafter is rapid, returning the pre-work values 30 minutes after the work.

4) From these results it appears that for the appearance of urinary fatigue reactions the load factor in a given time has a greater influence than the working-time factor and that these reactions appear when there exists a certain imbalance (for an example, acidosis) *in vivo* brought about by physiological changes and they appear 30 minutes later rather than immediately after the work.
