

各種姿勢変化時の筋電図積分値と 酸素摂取量との関係について

中京大学体育学部運動生理学研究室

湯 浅 景 元・平 田 敏 彦
朝比奈 一 男・福 永 哲 夫

The relation between integrated electromyography and oxygen uptake on the three different body postures during submaximal bicycle exercise

The purpose of this study was to observe the effect of body position on the integrated electromyographical activity concern with oxygen uptake during bicycle exercise. Six male subjects, 19-30 aged, were programmed 5 minutes bicycling in the every three different body positions; sitting position, horizontal supine position, supine with legs 45 degree up position, (hereafter referred to as sitting, horizontal, and supine.)

Thirty minutes pause were inserted among submaximal exercises.

1) Oxygen uptake increased with an increased work load, It was observed oxygen uptake on supine and horizontal positions were higher than that on sitting position at the work intensity of 720 kpm/min.

2) It was found the linear relationship between oxygen uptake and integrated electromyography in all muscle groups except m. gastrocnemius and m. tibialis anterior on supine position; Sitting [m. rectus femoris $r=0.526$ ($p<0.05$), m. biceps femoris $r=0.600$ ($p<0.01$), and m. tibialis anterior $r=0.490$ ($p<0.05$)], horizontal [m. rectus femoris $r=0.518$ ($p<0.05$), m. biceps femoris $r=0.503$ ($p<0.05$), and m. tibialis anterior $r=0.493$ ($p<0.05$)], and supine [m. rectus femoris $r=0.550$ ($p<0.05$), and m. biceps femoris $r=0.485$ ($p<0.05$)]

3) Integrated electromyography \times muscle volume (EMV) in every muscle group was increased with a increased oxygen uptake in the three different postures.

4) Integrated electromyography of m. gastrocnemius showed higher magnitude at the position of supine and horizontal than at sitting. However, integrated electromyography from other three muscle groups showed similar values at the every three different body positions.

5) No difference in total EMV (total magnitude of EMV obtained from four muscle groups) was observed at a given oxygen uptake when the three different body positions were compared.

作業に対する呼吸循環機能の応答は、作業様式及び作業に参加する筋量によって変動する。

人が作業を行なう場合に、作業強度を増加させていくと酸素摂取量も増加を示す。

作業強度と酸素摂取量との間には正比例関係がある(Åstrand)¹⁾ことは報告されて来た。

本研究では、座位、仰臥位、仰臥位姿勢より下肢を45度に挙上させた3つの異なる姿勢において最大下作業を実施し、作業中の酸素摂取量と下肢の筋電図積分値を測定することによって、作業中の姿勢が酸素摂取量と筋電図積分値との関係にどのような影響を及ぼしているかを明らかにしようとするものである。

方 法

1) 被検者

本研究における被検者は健康な男子6名で、いずれの被検者も過去にスポーツ競技歴をもつ、1名は体育学部教員、3名は体育学部大学院生、2名は体育学部学生である。被検者別の年齢、身長、体表面積及びそれぞれの平均値を表1に示した。

Table 1. Ages and physical characteristics of subjects with mean values and standard deviation.

Subj.	Age (yrs)	Body Height (cm)	Body Weight (kg)	Body Surface Area (m ²)
FUJ	20.4	170.0	68.0	1.78
HIR	30.3	174.7	63.4	1.72
MAT	23.0	170.0	60.2	1.65
TSU	22.8	160.8	53.0	1.50
YAM	19.8	174.7	63.0	1.70
YUM	28.5	167.6	63.5	1.67
Mean	24.1	169.5	61.9	1.67
±S.D.	±3.9	±5.0	±4.6	±0.09

2) 実験手順

実験にはモナーク社製の自転車エルゴメーターを使用して最大下作業を行なった。

図1は3種の異なる作業姿勢を示したものである。

Sitting position: 普通自転車エルゴメーター作業として用いられている坐位状態の姿勢(以下Sitting)。

Horizontal supine position: 床面と平行に仰臥位姿勢をとり自転車エルゴメーターを設置した(以下Horizontal)。

Supine with legs 45 degree up position:

仰臥位姿勢から転子点と果点を結ぶ線を一直線として、下肢を45度に挙上させ自転車エルゴメーターを設置した(以下Supine)。

以上の3種の異なる姿勢において30分間の安静をとり5分間の酸素摂取量、心拍数、血圧を測定した。作業強度は、Sittingでは360, 720, 1080 kpm/minの強度で5分間の作業を行なった。それぞれの3種の異なる姿勢においての作業は電極間の固定のため同じ日に実施し、作業間の休息は30分間とした。

筋電図及び筋電図積分値の記録は表面電極法により日本光電製のRM-85型の多用途監視記録装置によった。電極は直径10mmの皿状銀板電極を用いた。

被検筋は自転車エルゴメーター作業に主要筋として働くと考えられる下肢筋群の大腿直筋(RF)、大腿二頭筋(BF)、前脛骨筋(TA)及び腓腹筋(GC)を選んだ。

下腿及び大腿の屈筋と伸筋の筋量を求めるために、水浸法により下肢の全容積を測定しさらにX線撮影法による下腿及び大腿のX線写真から筋の断面積の占める比率を求めた。筋量の算出は以下のようにした。

$$\text{筋量} = \text{筋の比率} \times \text{下肢容積}$$

作業中の酸素摂取量と筋電図積分値は連続的に測定及び記録した。呼気ガスはダグラスバッグ法を用いて採気した。炭酸ガス及び酸素濃度はショランダー微量ガス分析器を用いて分析した。

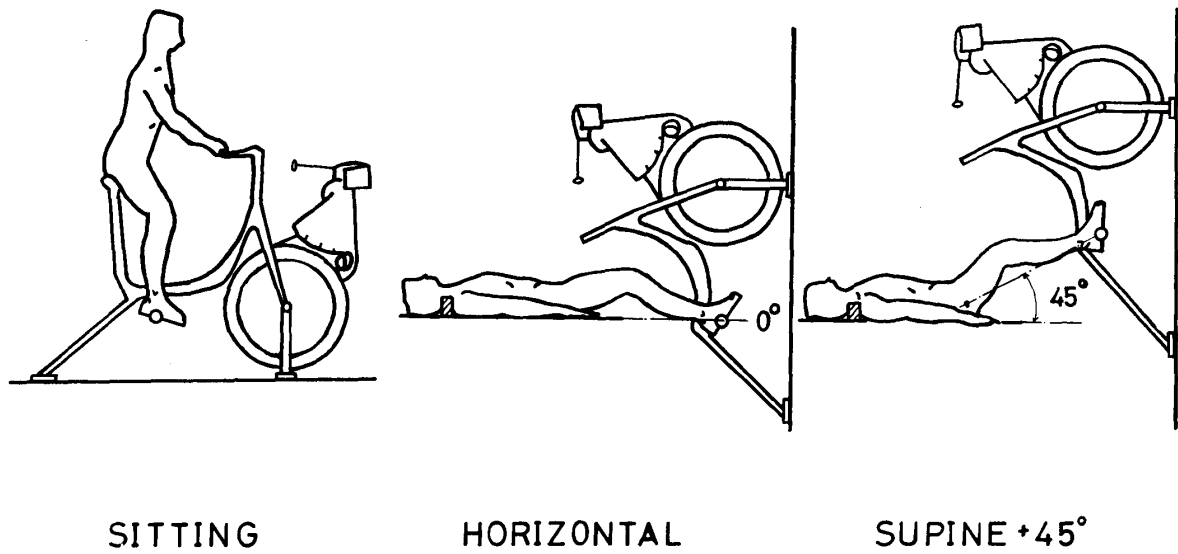


Fig 1. The three testing positions in the exeperiment

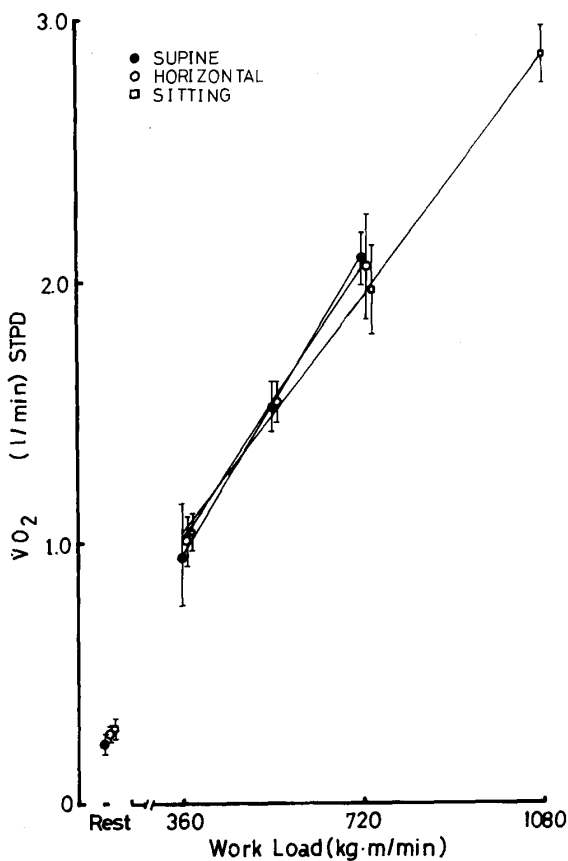


Fig 2. Relationship between $\dot{V}O_2$ work load in the three different postures

結 果

3種の異なる作業姿勢において自転車エルゴメーター作業中の酸素摂取量及び筋電図積分値を被検者別に示したのが表2及び表3である。図2は作業強度の増加にともなう酸素摂取量の変化を作業姿勢別にみたものである。異なる3種の姿勢においても酸素摂取量は作業強度の増加につれて増加する傾向を示し、作業強度と酸素摂取量との間に直線的な正比例関係が認められた。それぞれの姿勢間における酸素摂取量の差異は、低い作業強度では有意な差異は認められなかった。しかし720 kpm/minでの作業強度においては、Sittingに比較してHorizontal及びSupineの酸素摂取量は有意に高い値を示した。

Table 2. Oxygen uptake and mean values obtained on the each subject during submaximal load in the three different postures.

Subj.	Position Load (kpm/min)	Sitting					Horizontal					Supine+45°				
		Rest	360	720	1080	Max.	Rest	360	540	720	Max.	Rest	360	540	720	Max.
FUJ		0.26	1.14	2.01	2.97	3.42	0.31	1.15	1.68	2.31	3.45	0.31	1.29	1.56	2.13	2.80
HIR		0.33	1.08	1.49	2.08	1.99	0.32	0.84	1.55	1.57	1.96	0.24	0.53	1.55	2.19	1.93
MAT		0.32	0.96	2.10	2.80	3.69	0.27	0.97	1.42	2.11	3.37	0.23	1.02	1.55	2.10	3.14
TSN		0.23	1.12	1.61	2.19	2.54	0.23	1.06	1.46	2.22	2.50	0.15	1.02	1.51	2.20	2.25
YAM		0.31	1.01	2.24	2.89	2.65	0.29	1.03	1.51	2.23	2.66	0.24	0.95	1.60	2.26	2.33
YUA		0.21	1.14	1.75	2.67	3.12	0.23	1.08	1.58	2.12	2.63	0.23	0.98	1.60	2.19	2.82
Mean		0.28	1.08	1.87	2.60	2.90	0.28	1.02	1.53	2.09	2.76	0.23	0.97	1.55	2.18	2.55
± S. D.		0.05	0.07	0.27	0.34	0.57	0.04	0.10	0.08	0.24	0.51	0.05	0.22	0.03	0.05	0.41

Table 3. Integrated EMG activity of m. rectus femoris (RF), m. biceps femoris (BF) m. tibialis anterior (TA) and m. gastrocnemius (GC) obtained on the each subject during submaximal load at the three different postures.

Subj.	Position Load (kpm/min)	Sitting			Horizontal			Supine+45°		
		360	720	1080	360	540	720	360	540	720
FUJ	RF	1.95	3.15	4.85	3.24	3.79	6.31	2.08	1.68	4.30
	BF	1.19	2.65	2.94	3.13	2.23	3.08	1.61	2.32	4.06
	TA	7.34	15.12	14.17	6.53	6.79	11.59	8.27	5.44	5.38
	GC	1.95	2.67	3.53	7.80	9.32	10.55	6.17	8.92	10.26
HIR	RF	1.88	2.47	3.26	1.36	2.40	4.58	1.83	2.33	5.32
	BF	0.34	0.78	1.80	1.95	3.23	4.52	0.93	1.66	1.88
	TA	4.48	4.56	4.09	3.17	3.96	4.63	3.88	3.85	9.56
	GC	1.89	0.94	0.56	3.93	5.69	7.05	4.31	5.09	5.18
MAT	RF	2.95	5.02	7.48	2.64	4.02	6.35	2.70	4.09	6.30
	BF	0.76	1.69	2.97	0.73	0.79	2.36	0.55	0.94	0.80
	TA	4.47	4.09	4.39	1.70	3.28	4.81	3.17	2.78	3.38
	GC	3.30	2.01	2.12	2.10	3.52	5.11	0.66	3.04	3.82
TSN	RF	0.93	2.12	2.88	0.81	1.25	3.00	1.55	3.33	5.96
	BF	1.37	1.99	1.54	3.66	3.39	4.16	0.56	3.53	7.37
	TA	5.85	5.57	11.08	2.57	2.69	2.68	3.22	2.56	4.64
	GC	0.46	1.01	1.79	9.22	10.51	8.02	8.35	7.06	8.34
YAM	RF	1.03	2.11	3.32	1.00	1.78	2.42	1.46	2.16	2.61
	BF	2.79	10.12	13.76	3.21	4.29	5.60	3.66	4.17	5.27
	TA	3.32	6.09	6.35	0.72	—	2.94	1.35	0.91	1.30
	GC	3.26	2.42	4.62	7.14	10.57	11.53	5.74	6.61	11.05
YUA	RF	4.60	8.29	13.12	6.06	9.07	10.87	4.91	8.16	12.22
	BF	1.51	3.41	7.66	2.65	4.79	8.14	3.51	4.00	3.16
	TA	5.56	6.35	8.63	2.57	5.38	5.01	1.34	4.04	4.06
	GC	3.09	4.56	3.34	5.49	5.03	5.16	5.21	5.04	5.34

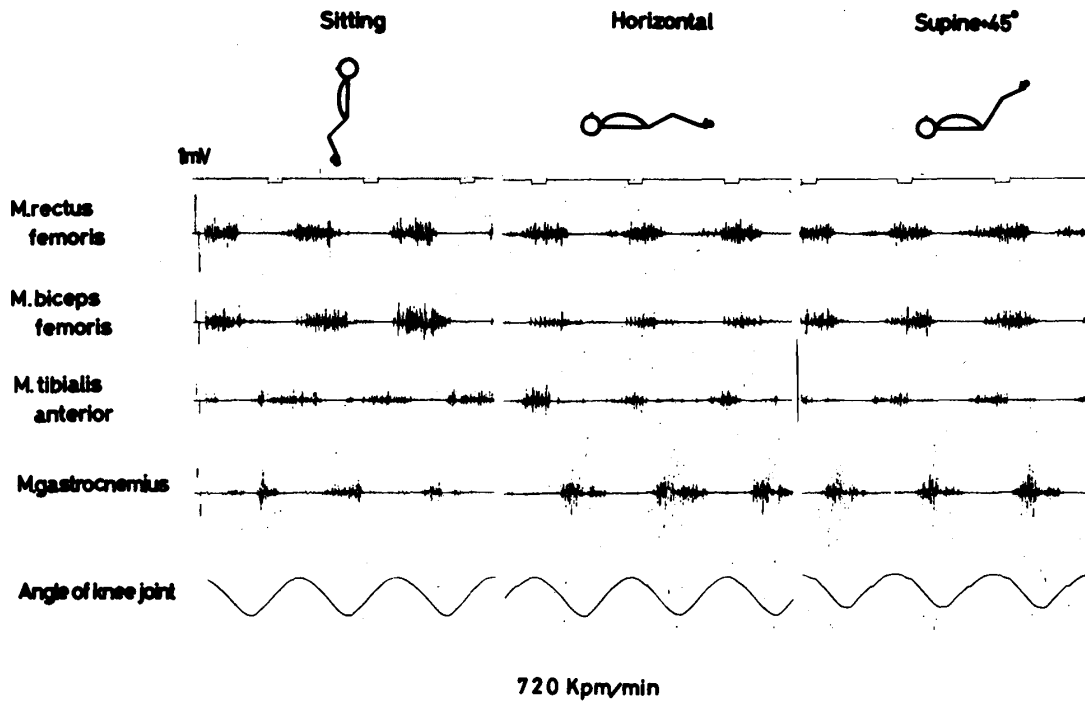


Fig 3. Recordings of EMG m. rectus femoris, m. biceps femoeis, m. tibialis anterior, m. gastrocnemius, and angle of knee joint in the three different positions

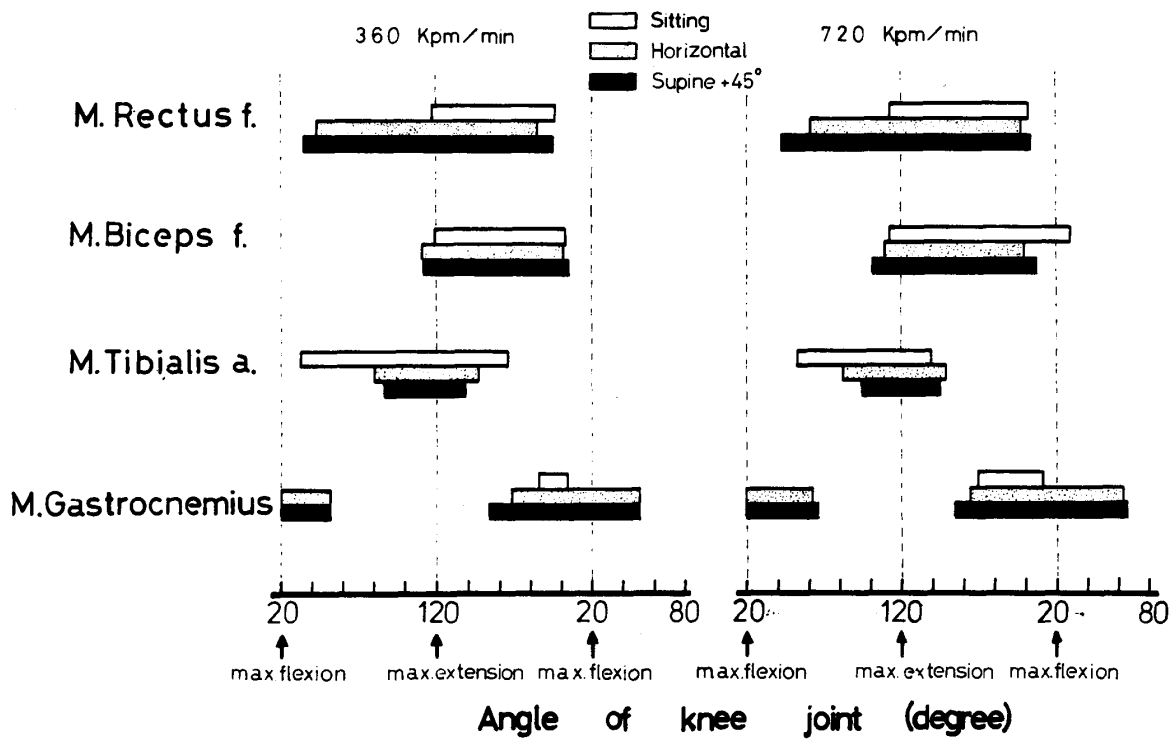


Fig 4. Changes in angle of knee joint with the three different postures

図3は被検者YAMについて、4つの被検筋の放電パターンとゴニオメーターで得られた膝関節の変化を記録したものである。この時の作業強度は720 kpm/minであった。作業姿勢の変化による被検筋のそれぞれの放電パターンをみると、明らかに作業姿勢が異なるにつれて放電のパターンが変化していることがわかる。特に前脛骨筋及び腓腹筋においては著明な変化がみられた。

図4は360 kpm/minと720 kpm/minとの作業強度における被検筋の放電時間を模式化したものである。横軸に膝関節角度を示した。大腿二頭筋以外の被検筋においては姿勢が異なるにつれて放電時間に差異がみられた。大腿直筋及び腓腹筋においては、SittingがHorizontal及びSupineに比較して短い放電時間を示し、前脛骨筋はこれと逆の傾向を示した。特に前脛骨筋及び腓腹筋についてみると、Sittingに比較して他の2種の姿勢での放電時間に非常に大きな差異を示す傾向がみられた。この傾向は他の被検者においても、また作業強度が異なっても同じようにみられた。

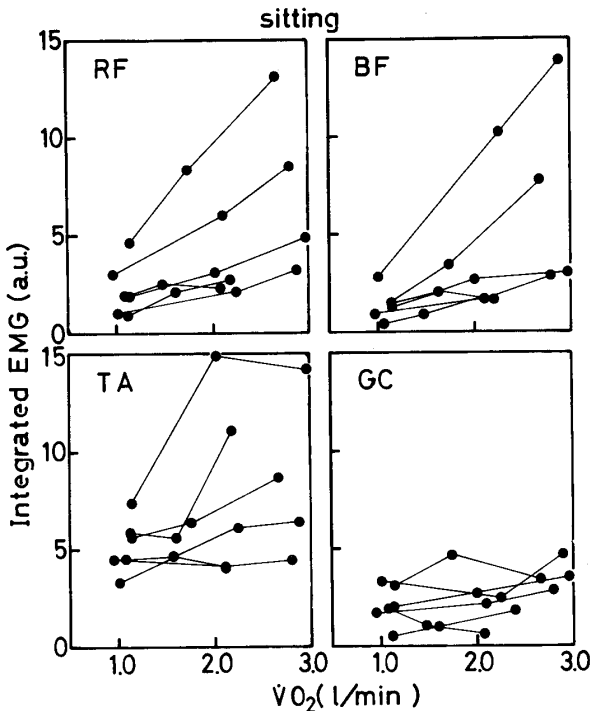


Fig 5. Relationship between Integrated EMG and $\dot{V}O_2$ in the sitting position

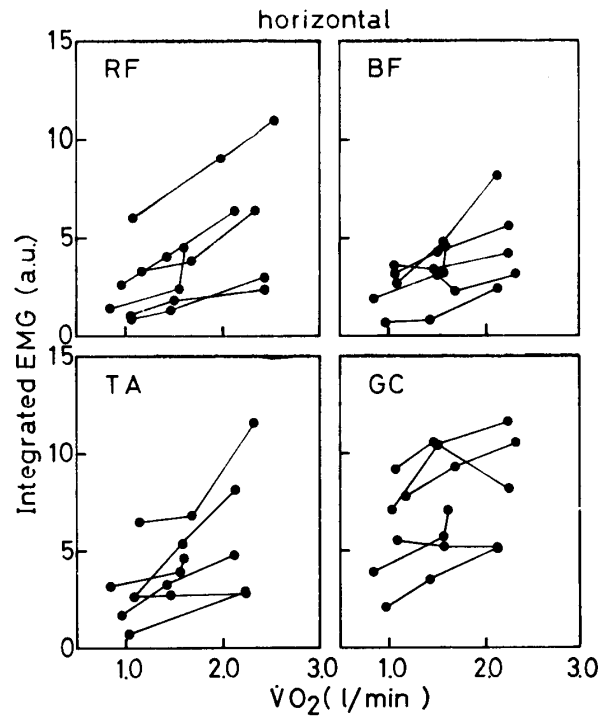


Fig 6. Relationship between Integrated EMG and $\dot{V}O_2$ in the horizontal position

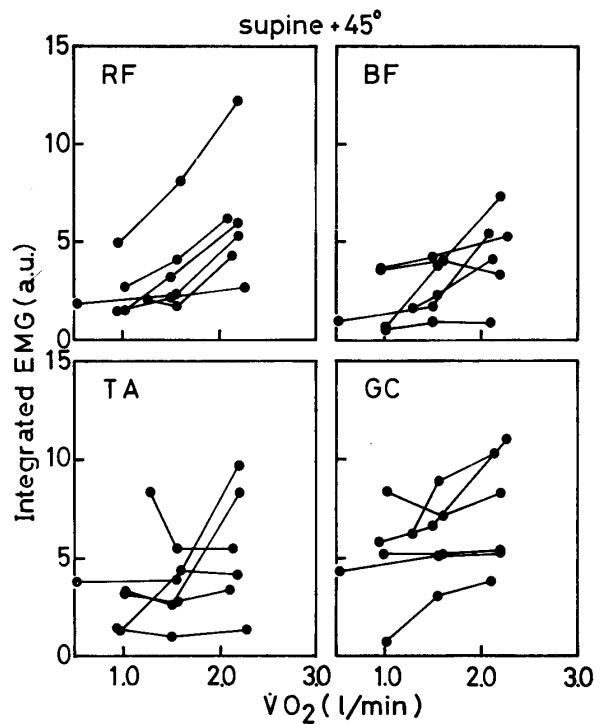


Fig 7. Relationship between Integrated EMG and $\dot{V}O_2$ in supine position

図5, 図6及び図7は3種の姿勢での酸素摂取量と筋電図積分値との関係を示したものである。Sittingでの腓腹筋を除く他の被検筋においては酸素摂取量の増加に伴って、筋電図積分値も増加する傾向がみられた。

中でも大腿直筋及び大腿二頭筋では3種の姿勢において筋電図積分値は大きい増加傾向を示した。

Table 4. Relation between oxygen uptake and integrated EMG from muscle group. Regression line; $Y=ax+b$

Sitting	r	a	b	
M. rectus f.	0.526	2.30	-0.29	*
M. biceps f.	0.600	3.11	-2.44	**
M. tibialis a.	0.490	2.13	2.82	*
M. gastrocnemius	0.290	1.47	0.29	
Horizontal	r	a	b	
M. rictus f.	0.518	2.69	-0.08	*
M. biceps f.	0.503	1.82	0.62	*
M. tibialis a.	0.493	2.51	0.28	*
M. gastrocnemius	0.390	2.27	3.59	
Supine+45°	r	a	b	
M. rectus f.	0.550	2.92	-0.50	*
M. biceps f.	0.485	1.61	0.26	*
M. tibialis a.	0.280	1.22	1.94	
M. gastrocnemius	0.310	1.42	3.90	

** $p < 0.01$ * $p < 0.05$

表4はそれぞれの姿勢別に被検筋の酸素摂取量と筋電図積分値との相関係数を示したものである。大腿の筋群からの筋電図積分値はいずれの作業姿勢においても酸素摂取量と統計的に有意な相関関係がみられた。しかし下腿の筋群についてみると3種の姿勢での腓腹筋とSupineでの前脛骨筋は有意な相関関係がみられなかった。

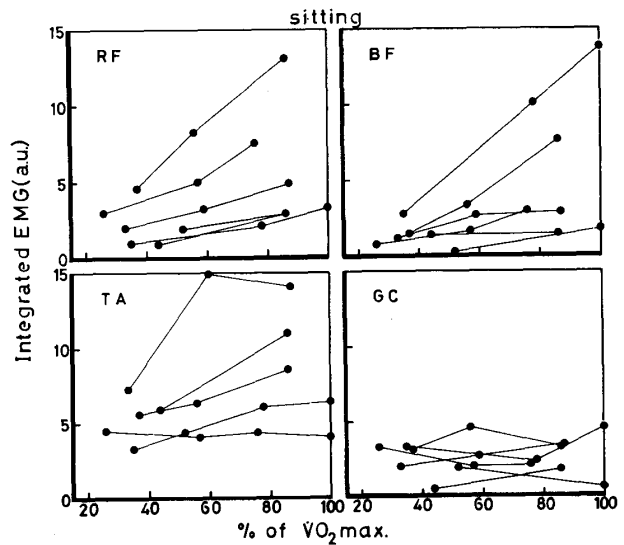


Fig 8. Relationship between Integrated EMG and % of $\dot{V}O_2$ max. in the sitting position

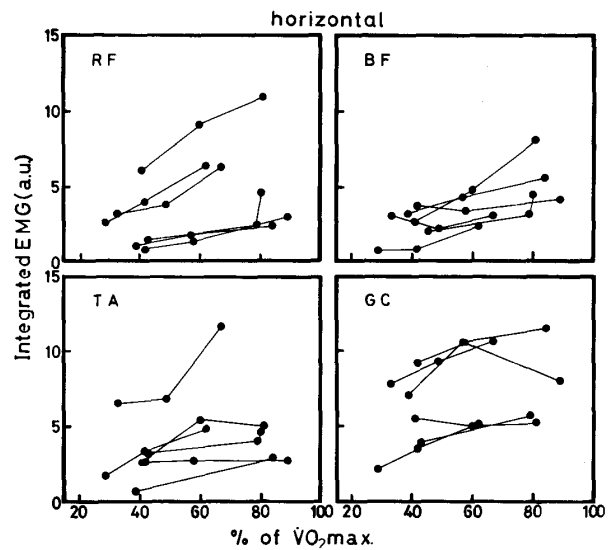


Fig 9. Relationship between Integrated EMG and % of $\dot{V}O_2$ max. in the horizontal position

図8, 図9及び図10は最大酸素摂取量に対する酸素摂取量の比率と筋電図積分値との関係をそれぞれの姿勢別に示したものである。

3種の異なる姿勢においても図5, 図6, 及び図7でみられたと同じように% of $\dot{V}O_2$ max.の増加に伴って筋電図積分値も増加する傾向を示した。しかしSittingでの腓腹筋, Supineでの前脛骨筋は著明な増加傾向はみられなかった。

図11は酸素摂取量と筋電図積分値 × 筋量 (以下EMV) との関係を示したものである。全被検者において同様の傾向を示したので、まず代表的な被検者YAMについて両者の関係をみた。ここで示している筋量とは、先に述べた水浸法によって測定された下肢の容積及びX線写真から求めた筋の比率の積から算出した下腿及び大腿の伸筋と屈筋のそれぞれの量である。

それぞれの姿勢において酸素摂取量の増加するにつれEMVも増加する傾向を示した。さらに図12及び図13は全被検者について姿勢別に、それぞれの被検筋における両者の関係を示したものである。図11にみられたのと同様に全体的にみるとEMVは酸素摂取量の増加に伴って増加する傾向を示したが、しかし前脛骨筋とSittingでの腓腹筋は著明な増加傾向を示さなかった。

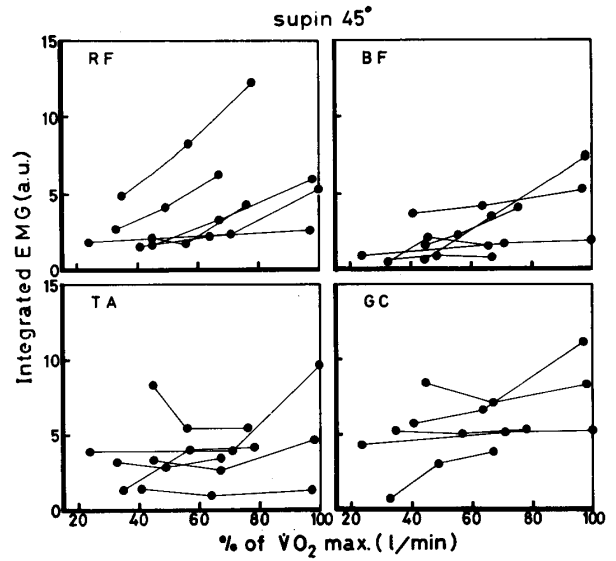


Fig 10. Relationship between Integrated EMG and % of $\dot{V}O_2$ max. in the supine + 45° position

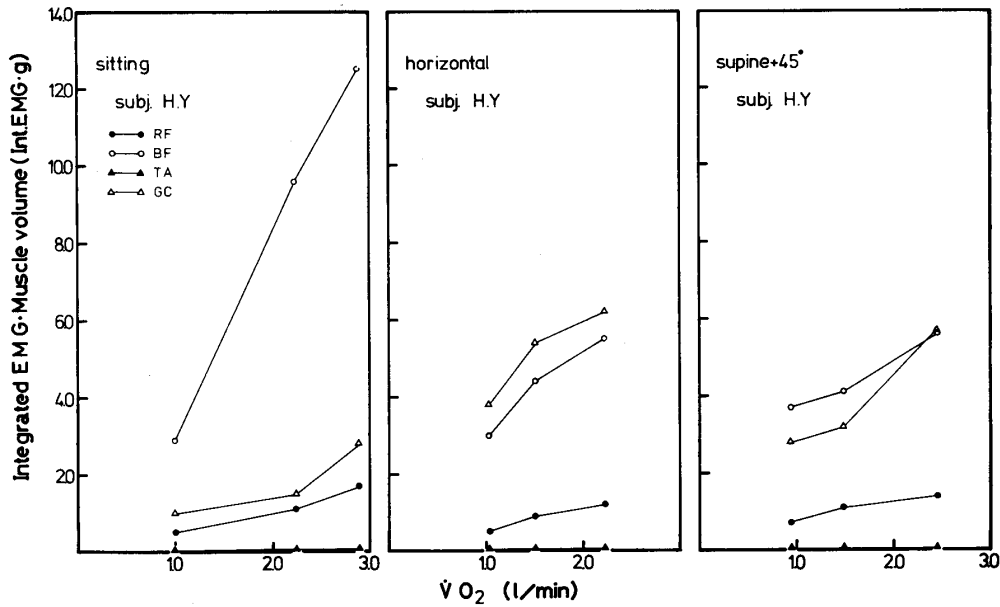


Fig 11. Individual Integrated EMG · Muscle volume compared with $\dot{V}O_2$ in the three different postures (subj. H.Y)

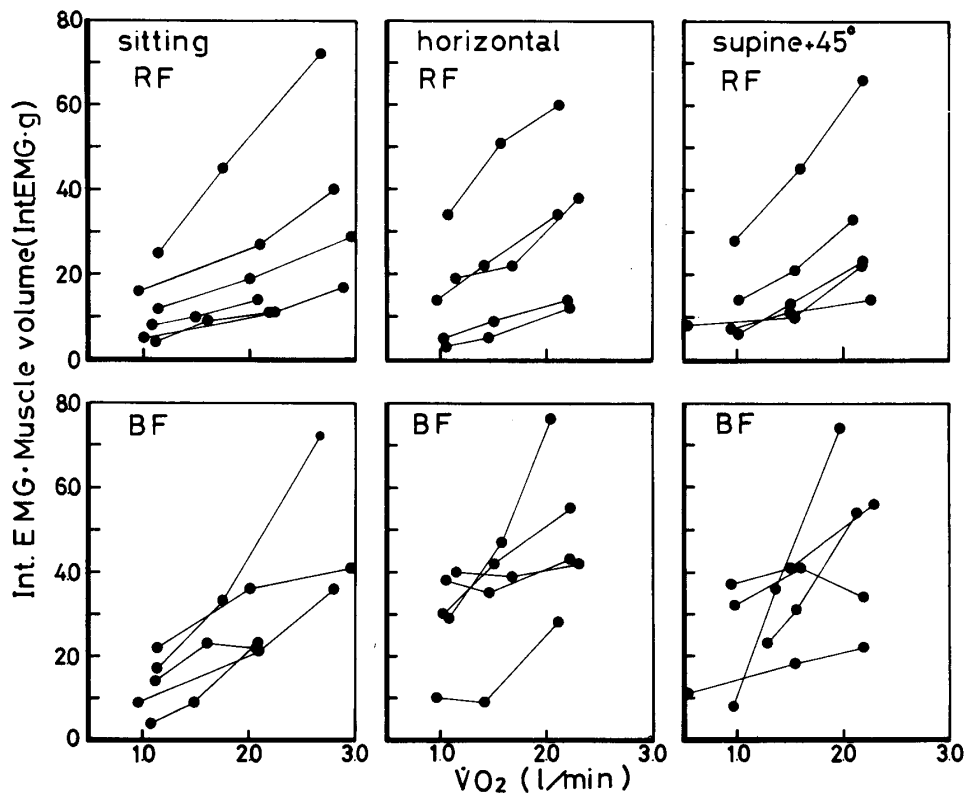


Fig 12. Relationship between Integrated EMG · Muscle volume and $\dot{V}O_2$ in th three different postures

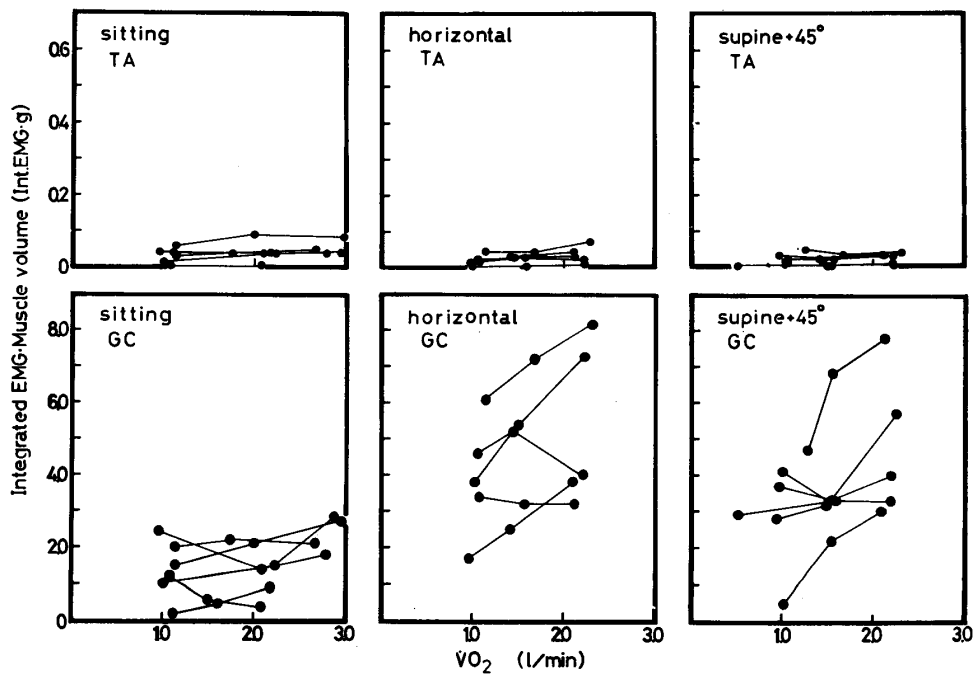


Fig 13. Relationship between Integrated EMG · Muscle volume and $\dot{V}O_2$ in the three different postures

図14は作業姿勢に伴うEMVの差異をSittingを100%として他の2種の作業姿勢を%で示したものである。その結果、腓腹筋については、Sitting姿勢に比較してHorizontal及びSupine姿勢が有意に高い値を示したが($p < 0.05$),しかし他の3筋については作業姿勢が変化してもその放電量には有為な差異はみられなかった。

図15は酸素摂取量と4つの被検筋のEMVの合計値との関係を示したものである。個人によって多少異なったようすを示しているが、全体的な傾向として、それぞれ異なる姿勢においてもEMVの合計値は酸素摂取量の増加に伴って増加する傾向を示した。

論 議

本研究では3種の異なる作業姿勢において自転車エルゴメーター作業中の筋電図積分値と酸素摂取量との関係について検討した。

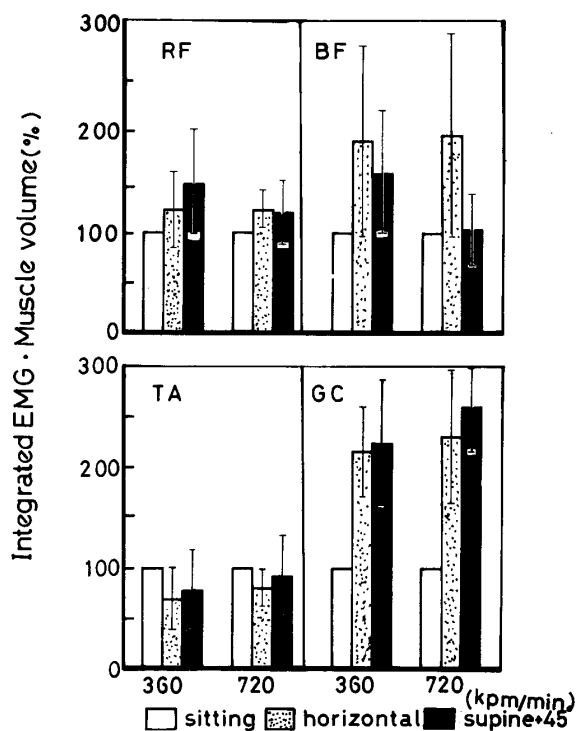


Fig 14. Changes in Integrated EMG · Muscle volume (sitting, horizontal, and supine+45°) with work load

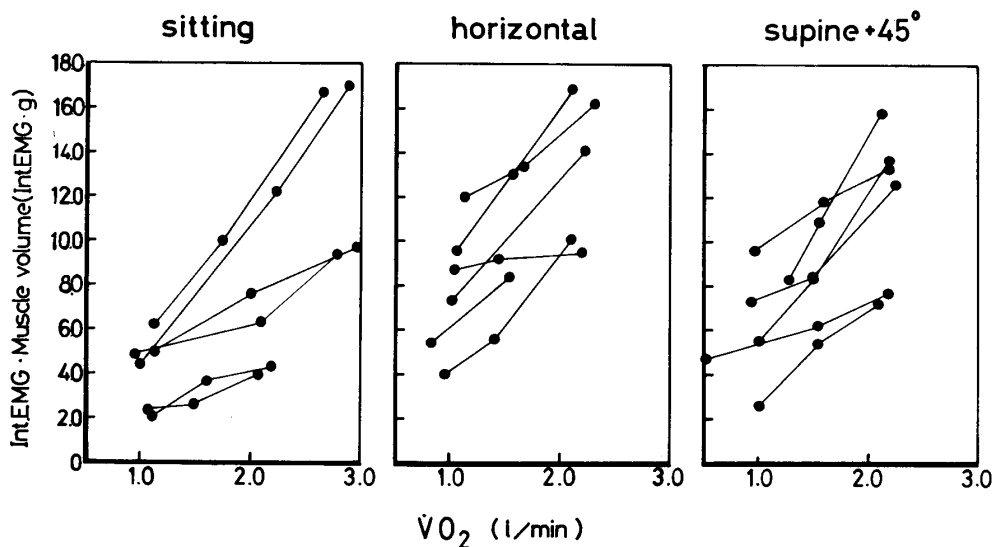


Fig 15. Relationship between total Integrated EMG · Muscle volume and $\dot{V}O_2$ in the three different postures

3種の異なる作業姿勢において、6名の被検者の酸素摂取量は作業強度の増加に伴って増加した。Åstrand¹⁾たちは作業強度の増加に比例して酸素摂取量も増加するという報告をしているが、本研究における異なる姿勢での作業においても、両者の関係はÅstrandらとほぼ同様の結果が得られた。

作業姿勢と筋の放電様式との関係については、姿勢が筋活動に影響を及ぼしていることを認めた。また筋の活動時間との関係では、大腿直筋及び腓腹筋は他の2種の姿勢に比較して活動時間が短かく、逆に前脛骨筋では他の2種の姿勢に比較して長い傾向を示した。

さらに3種の姿勢間の差異が大きいことから、作業に参加する筋の活動は作業姿勢の影響を受けていることが推察できる。つまり作業姿勢は作業に参加する筋群に影響を及ぼしていると言い換えうる。

Bigland²⁾たちは自転車エルゴメーター作業中の筋電図積分値と酸素摂取量との間に有意な相関関係があることを報告している。我々の研究の3種の異なる姿勢での作業においても彼らと同様に筋電図積分値は酸素摂取量の増加に伴って増加する傾向を示した。また彼らは筋作業がいろいろな身体状態のもとでなされている時に、筋電図積分値と酸素摂取量との関係から筋繊維あたりの平均エネルギー消費の変化の情報を得ることができると述べている。本研究の結果から、我々も作業姿勢つまり作業様式によってなされた筋の活動の差異を知る手がかりを得ることが可能と考える。

またHenriksonたちは自転車エルゴメーター作業中の大腿四頭筋の筋電図積分値を測定し、個体間の比較ではなく作業強度との関係において考察を加え筋電図積分値は% of $\dot{V}O_2$ Maxの増加に伴って増加する傾向を得たことから筋電図積分値は作業強度の増加に比例すると報告している。

しかし筋電図積分値が表面電極法による筋

電図から測定される限り強度との関連を考えることには限界があることも示唆している。本研究の異なる姿勢での作業においても同様の結果を得たが、彼らの述べるとく作業強度と% of $\dot{V}O_2$ Max等の関係から、異なる姿勢において作業強度の差異を検討していくことは可能であるが、我々も表面電極法によっているので筋の総作業を個々の筋別に比較することには限界があると考ええる。

そこで作業に参加した大腿及び下腿の屈筋及び伸筋を先に述べた方法により算出することによって、筋電図積分値×Muscle Volume (EMV)を作業に参加した筋量を表わす指標と考え、酸素摂取量との関係についてみた。この関係においても姿勢が異なってもEMVは酸素摂取量の増加に対して同じ増加傾向を示した。しかし3種の姿勢での前脛骨筋とSittingでの腓腹筋は増加傾向が著明ではなかったがこれは前脛骨筋の算出した筋量が少ないことによるものであると考えられるが、Sittingの腓腹筋については作業姿勢のためでないかと考えられる。これをEMVの差異についてみると一層明らかであった。つまりそれぞれの姿勢ではEMVの差異は腓腹筋において有意な差異を認めた。従って作業姿勢は下腿の伸筋、屈筋の収縮に影響を及ぼしていると推察される。

一方4つの被検者のEMVの合計値と酸素摂取量との関係でみると、3種の異なる姿勢においても酸素摂取量の増加に対しEMVの合計値も同様の増加傾向を示した。つまり作業姿勢が異なった時に作業に参加していると考えられるそれぞれの筋量に差異は生じているが、全体として自転車エルゴメーター作業に参加する総参加筋量は作業姿勢が異なっても大きな変化はないものと考えられる。

また筋電図積分値×Muscle Volumeはその作業に参加した筋量を表わす指標と考えられる。

結 論

健康な男子（19才—30才）6名について、3種の異なる作業姿勢で自転車エルゴメーターを用い最大下作業を行なった結果次の事が明らかになった。

1) 作業強度と酸素摂取量との間には直線的な正比例関係が認められた。またそれぞれの姿勢間における酸素摂取量の差異は720 kpm/minではSittingに比較してHorizontal, Supineでは、有意な差が認められた($p < 0.05$)。

低い作業強度では有意な差が認められなかった。

2) 酸素摂取量と筋電図積分値との間にはSittingでは大腿直筋 $r = 0.526$ ($p < 0.05$), 大腿二頭筋 $r = 0.600$ ($p < 0.01$), 前脛骨筋 $r = 0.490$ ($p < 0.05$), Horizontalでは大腿直筋 $r = 0.518$ ($p < 0.05$) 大腿二頭筋 $r = 0.503$ ($p < 0.05$) 前脛骨筋 $r = 0.493$ ($p < 0.05$), さらにSupineでは大腿直筋 $r = 0.550$ ($p < 0.05$), 大腿二頭筋 $r = 0.481$ ($p < 0.05$) の有意な正の相関関係が得られた。筋電図積分値は酸素摂取量の増加に比例して増加する傾向がみられた。

SittingとHorizontalでは腓腹筋, Supineでは前脛骨筋及び腓腹筋に有意な相関関係はみられなかった。

3) 筋電図積分値×Muscle volumeの増加は酸素摂取量の増加にともなって増加する傾向を示した。

4) 作業姿勢が, SittingからHorizontal, 及びSupineに変わった時, 大腿の筋放電には大きな変化はみられなかった。下腿の筋放電では腓腹筋が増加し, 前脛骨筋はわずかに減少する傾向を示した。

5) 4つの被検筋の筋電図積分値×Muscle volumeは, 三つの異なる姿勢においても, 酸素摂取量の増加に伴って同様の増加傾向を示した。

参考文献

- 1) Åstrand, P. O., and B. Saltin: Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physiol.* 16:977-981, 1961.
- 2) Bigland, B., and J. J. Woods: Integrated EMG and Oxygen uptake during dynamic contractions of human muscles. *J. Appl. Physiol.* 36 (4) : 475-479, 1974.
- 3) Hermansen, L., and B. Saltin: Oxygen uptake during treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 26: 31-37, 1969.
- 4) 猪飼道夫編：身体運動の生理学, 杏林書院 1973.
- 5) Henriksson, J. and F. B. Petersen: Integrated electromyography of quadriceps femoris muscle at different exercise intensities. *J. Appl. Physiol.* 36(2): 218-220, 1974
- 6) Karpovich, V. : Physiology of muscular activity. 猪飼道夫, 石河利寛訳, ベースボールマガジン社, 1971.
- 7) 三木威勇治, 他：筋電図入門, 南山堂, 1974.
- 8) 皆川考志, 他：カエルの縫工筋の反射性収縮における張力と電気的活動について, 体力科学, 20, 151-158, 1971.
- 9) 宮下充正, 他：Positive work, Negative workに関する筋電図学的研究, 体育学研究, 14, 39-43, 1969.
- 10) Lioppold O. C. J.: The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension. *J. Physiol.* 117: 492-499, 1952.
- 11) Bouisset, S., and F. Goubel: Integrated electromyographical activity and muscle work *J. Appl. Physiol.* 35 (5) : 695-702, 1973.