

## 疲労指標としての膝蓋腱反射時間に関する一考察

三井 淳蔵・筒井 健市・柴田 一男\*・渡辺 義行\*

体 育 教 室

(1973年9月14日受理)

### A Study of Knee Jerk Reflex Time as Index to Physical Fatigue

Junzo MITSUI, Kenichi TSUTSUI, Kazuo SHIBATA,  
and Yoshiyuki WATANABE

*Department of Physical Education*

(Received Sep. 14, 1973)

We tried to study of knee jerk reflex time as indexes to physical fatigue, and made up a following equipment. The hammer to strike the knee has a microswitch in the head. The moment the knee is struck by it, the switch sets on, and the time counter (1/1000 second) starts. The beam passing by the shin, almost touching it, is prevented by the swing of the lower limbs, and the time counter stops.

Measurement was put in practice before sixteen minute exercise on a bicycle ergo-meter in the water of 23°C, after the exercise and in the process of recovery for twenty minutes after getting out of the water. Under the same way, the measurement was also tried in the Room of 28°C.

Moreover, we tried to measure knee jerk reflex time during the driving for about six hours.

As the result of these measurements, we found that the reflex time indicates not only physical fatigue but mental fatigue. And it may safely be said that when the value is more than 1.4 times as much as that indicated before exercise, it shows the state of being tired.

#### 1. はじめに

疲労は種々の条件のもとにおける機能の行き過ぎによって惹き起こされる生体の生理的な機能の減退を意味する。もちろん局所的疲労感や全身の疲労感など自覚的な肉体的疲労ばかりでなく、注意力の散漫、理知的判断の緩慢さなど精神的な疲労感も他覚される場合もある。

疲労についてはその原因による分類や、表現、発現の部位等による分類が行われているが、生理学的には、肉体的疲労と精神的疲労とに大別されているようである。

疲労測定には従来、血液の性状変化による検査、尿の性状変化 (Donaggio 反応) による検査、感覚機能

(Flicker test) の検査、精神機能(思考、判断、計算)の検査、呼吸循環機能の検査、主観的判定法、反射機能(膝関、反応時間)の検査等が実施されて来た。

今回、我々はこれらの検査法の中で手軽に測定できる方法として、膝蓋腱反射を利用しようと考えた。

膝蓋腱反射は筋伸張反射とも呼ばれ、我々が何気なく直立すれば、重力により膝が曲げられ、この膝関節の伸筋である大腿四頭筋に対して伸張が加えられる。この刺激が筋の持続的収縮をおこし、重力に拮抗して直立姿勢を保持させてくれることになる。例えばこのように日常生活における立つ、坐る、歩く、走るなどのすべての身体行動は大腿四頭筋の収縮を惹き起こし、その働きを要求しているので、1日の勤が終わった時には、その内容が

\*大同工大

どんなものであれ、肉体的には疲労度の一番高い部位であるといわねばなるまい。

そこで疲労検査の一方法として、この大腿四頭筋を刺激し、その収縮により疲労の有無を判定しようとするのが膝蓋腱反射の測定であろう。膝蓋腱反射は大腿四頭筋の腱を打って、この筋を伸張すると受容器である筋紡錘から知覚神経(グループ Ia 繊維)を通して、求心性インパルスが背髄の反射中枢(L<sub>6</sub> 背髄レベル)へ伝えられ、ここで四頭筋の運動ニューロンに単シナプス性の連絡をし、脊髄前根から運動神経を通して、もとの筋へ衝撃を伝へ収縮させる固有反射で、この大腿四頭筋の収縮により下腿がぶらりとゆれるのである。

この反射弓を利用し、疲労指標とした膝蓋腱の測定には上岡<sup>1) 2) 3)</sup>、萩原<sup>4)</sup>、河野<sup>5)</sup>、仁木<sup>6)</sup>等の報告がある。これらの報告では、疲労度は膝蓋腱を叩く強さ(膝蓋腱反射閾値)に比例し、疲労判定の指標として十分に役立つことを述べている。また鈴木<sup>7)</sup>、長村<sup>8)</sup>は膝蓋腱反射時間が肉体的疲労時には顕著に遅延されることを報告している。

このように膝蓋腱反射においては、

- 1) 膝蓋腱反射を起すのに必要な刺激の強さの値(膝蓋腱閾)。
- 2) 刺激が与えられ反射が起るまでに要する時間。
- 3) 一定強度の刺激に対する反射運動の強さ。

の三点に気付く。この 1) に関しては上述した上岡、河野、萩原、仁木等の報告をみる事ができるので、2) の反射時間により疲労度の測定を試み、時間差としてどのように現れるかを把えることにした。

## 2. 実験方法

### 1) 作業条件について

#### ① 入水負荷

28°C の室内にて、横 130cm、縦 180cm、深さ 160cm の水槽中へ、自転車エルゴメーターを入れ、被検者は、23°C の水中へ首まで浸り、水中にて自転車回転抵抗、2 kg/w、回転速度 20km/h、16分間のペタリング作業。

② ①と同一自転車エルゴメーターにより、28°C の室内にて、自転車回転抵抗 2 kg/w、回転速度 20 km/h、16分間のペタリング作業。

③ 自動車(クラウンオートマチック)にて約 6 時間 473.9km の高速道路ドライブ。

### 2) 測定について

上記①については、入水直前の膝蓋腱反射時間(以後膝反時と呼ぶ)の測定、及び入水後 3 分間のウォーミン

グアップ、休憩 2 分間、16分間のペタリング作業中の呼気ガスの採集と心電図記録。退水直後の膝反時の測定、退水休憩 20 分間の呼気ガス採集と心電図記録、退水休憩 2 分毎の膝反時の測定。

②については、①と同じ要領にて作業前、作業後、休憩中の膝反時の測定、作業中及び休憩中の呼気ガス採集と心電図記録を行った。

③については、スタート→①名古屋インターチェンジ→②浜名湖サービスエリア→③静岡インターチェンジ→④浜名湖サービスエリア→⑤名古屋インターチェンジ—関ヶ原インターチェンジ—国道 21 号線→⑥終着、のドライブコースをとり朝食後、スタート直前、及び①、②、③、④、⑤、⑥の各地点において膝反時の測定を行い、同時にドライブ中の心電図記録を実施した。

### 3) 測定用具について

#### ①膝反時の測定

八神式膝蓋腱反射測定器を用い、その鉛の叩打槌を改良し、槌内へマイクロスイッチをセットし、槌叩打と同時に 1/1000 秒計時デカトロン式タイムカウンターが作動する。腱反射により下腿がゆれ、前脛いっばいに通る光電管のビームがさえぎられ、タイムカウンターは停止するように装置した。

叩打槌の腕の長さは 16cm、重さ 400g、支点からの落下角は 60°、叩打間隔時間は 3 秒以上とし、常時一定強度で一定間隔を取り得るようにした。

#### ②呼気ガスの採集と分析

マグラスバッグを用い、2 分間毎の呼気を採集し、フクダ電子 KK 製のプレスアナライザーにより、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> の分析を行った。

#### ③心電図記録

携帯用心電計にて記録した。

### 4) 被検者について

#### ①自転車エルゴメーターによる測定

N, 男子, 15才, 身長 155cm, 体重 45kg, 胸囲 72cm  
A, 〃 16才 〃 166cm, 〃 55kg, 〃 85cm  
K, 〃 23才 〃 178cm, 〃 65kg, 〃 94cm

#### ②ドライブ中の測定

M, 男子, 35才, 身長 171cm, 体重 61kg, 胸囲 89cm

## 3. 実験結果とその検討

実験結果はすべて表 1, 2 に示した通りである。

自転車エルゴメーターにより時速 20km、回転抵抗 2 kg/w で、作業開始約 7 分を経過したときの心拍数を、

**Table 1** Heart Rate, Oxygen Intake, Ventilation and Knee Jerk Reflex Time during Exercise on Bicycle Ergometer in Water

Sub	Time(min) Item	Quiet	in Water (23°C)												retire										Recovery (Room 28°C)									
			W-up		rest		exercise																											
			3	2	2	4	6	8	10	12	14	16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20												
N	Heart Rate (beats/min)	64	76	62	80	80	92	90	96	96	80	80	68	60	60	60	56	56	60	64	64	70												
	Ve (l/min)	6.6	14.9	12.9	16.7	18.9	20.7	20.2	27.6	17.6	16.4	14.5	10.3	7.8	6.3	7.7	7.7	27.0	7.0	7.2	7.0	7.1												
	O <sub>2</sub> Intake (ml/min)	106	238	239	450	491	580	505	552	352	245	177	155	109	63	77	50	49	84	29	35	30												
	Knee Jerk Reflex Time (msec)	133											292	242	158	164	103	123	161	158	175	201												
A	Heart Rate (beats/min)	72	80	75	96	106	96	100	106	106	104	96	74	64	68	72	72	68	72	68	64	70												
	Ve (l/min)	10.4	10.5	9.7	9.9	11	12	16.7	11.2	12.2	14.1	14.2	16.8	8.8	5.8	7.7	9.7	5.8	26.9	7.6	6.6	46.0												
	O <sub>2</sub> Intake (ml/min)	281	368	396	356	396	521	733	683	659	776	781	874	357	311	290	283	309	248	274	243	234												
	Knee Jerk Reflex Time (msec)	63											147	159	104	108	94	100	94	100	102	114												
K	Heart Rate (beats/min)	81	136	120	136	132	140	140	132	134	132	136	120	100	92	92	92	92	88	88	88	88												
	Ve (l/min)	4	29.1	26.0	29.7	35.8	34.2	36.3	30.5	33.6	25.4	32.2	27.2	28.0	7.1	6.5	5.5	0.4	5.6	3.5	1.4	1.1												
	O <sub>2</sub> Intake (ml/min)	44	1077	936	1097	1287	1400	1420	1127	1210	1115	1224	898	224	176	142	193	113	132	106	61	105												
	Knee Jerk Reflex time (msec)	77											166	164	147	122	94	123	120	124	149	132												

**Table 2** Heart Rate, Oxygen Intake, Ventilation and Knee Jerk Reflex Time during Exercise on Bicycle Ergometer in Room

Sub	Time(min) Item	Quiet	in Room (28°C)												Recovery (Room 28°C)									
			W-up		rest		exercise																	
			3	2	2	4	6	8	10	12	14	16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20		
N	Heart Rate (beats/min)	72	132	92	124	136	132	140	134	134	138	132	92	100	88	96	88	88	96	84	72	84		
	Ve (l/min)	6.0	17.1	10.6	14.4	16.4	17.3	23.4	32.4	25.1	25.2	27.2	17.8	10.4	10.1	9.8	0.7	7.7	2.6	8.9	5.6	0.0		
	O <sub>2</sub> Intake (ml/min)	126	565	253	373	556	606	957	1037	1027	1031	1249	587	333	281	335	216	185	187	230	265	202		
	Knee Jerk Reflex Time (msec)	123											258	182	130	124	161	152	182	178	191	209		
A	Heart Rate (beats/min)	68	96	76	92	104	100	100	100	100	96	108	76	80	76	76	72	80	84	76	68	68		
	Ve (l/min)	11.7	14.1	10.3	14.0	15.4	16.0	15.3	16.6	18.8	18.4	18.6	14.2	7.3	10.8	10.7	11.6	9.3	8.7	3.9	3.9	8.9		
	O <sub>2</sub> Intake (ml/min)	245	549	308	518	737	782	808	830	844	810	872	410	204	320	310	336	260	277	259	304	294		
	Knee Jerk Reflex time (msec)	69											134	94	69	84	90	94	82	90	92	107		
K	Heart Rate (beats/min)	62	102	96	102	128	140	140	144	150	152	148	150	102	96	92	80	70	70	60	60	60		
	Ve (l/min)	6.3	18.5	18.2	24.0	29.0	27.7	32.0	33.5	33.6	31.4	40.6	16.6	8.5	6.0	5.7	4.7	4.8	5.0	4.1	1.5	1.5		
	O <sub>2</sub> Intake (ml/min)	44	740	672	910	1100	1080	1519	1421	1512	1520	1665	548	213	132	103	144	162	135	131	117	92		
	Knee Jerk Reflex Time (msec)	83											136	112	86	94	92	109	105	126	122	107		

毎分 110前後になるような軽労作を目標にした。そして同一作業の条件を変え、水中と室内とで負荷が如何に生体へ影響するかを試みた結果、水中実験の成績では、図 1に示したように、全体に心拍数も少なく、酸素摂取量

も少ない。この中で特に被検者Kは、本学陸上競技部選手であり、体格に恵まれ、作業開始と同時に心拍数の立上りもよく、肺換気能もすぐれ、水中、陸上を問わず望ましい型である。

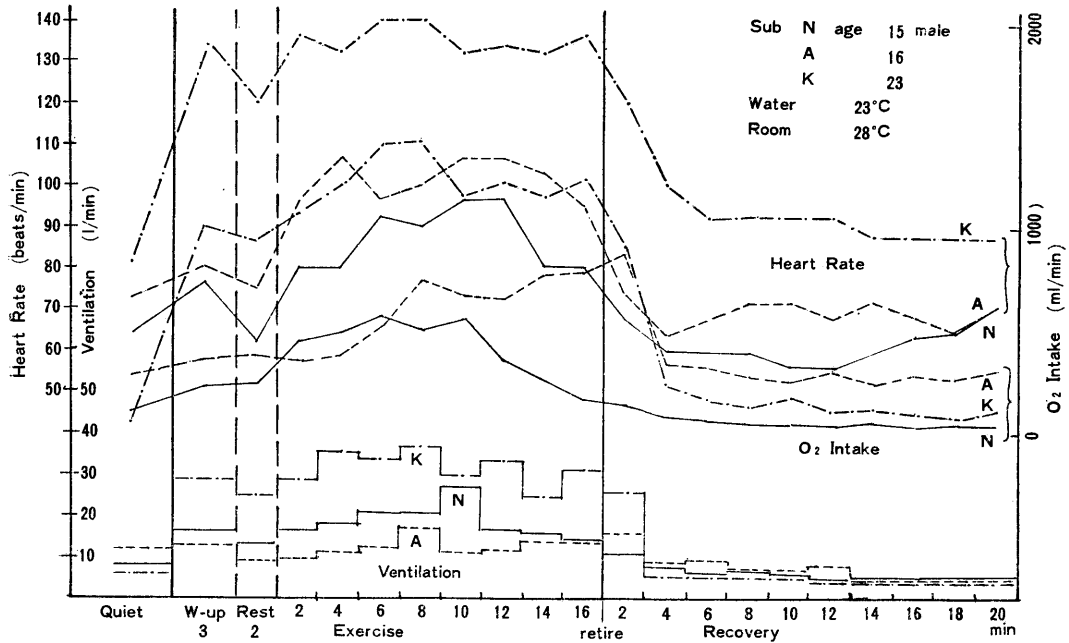


Fig. 1. Change of Heart Rate, Oxygen Intake and Ventilation during Exercise on Bicycle Ergometer in Water

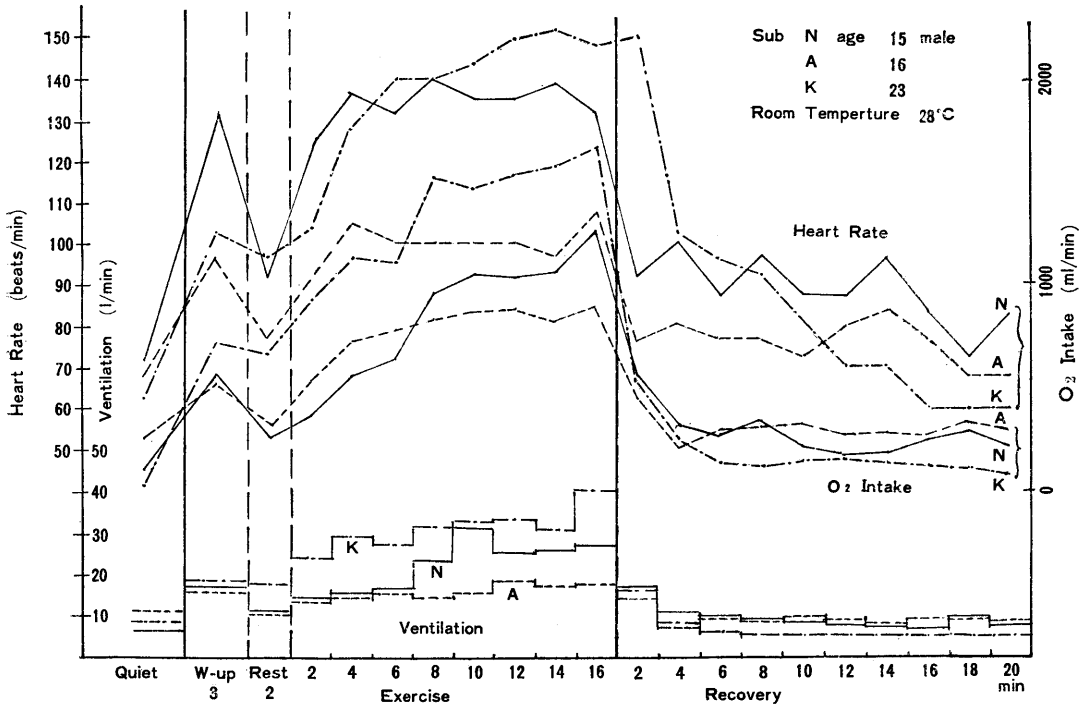


Fig. 2. Change of Heart Rate, Oxygen Intake and Ventilation during Exercise on Bicycle Ergometer in Room

回復過程における3名の被検者は順調な状態であるといえよう。図2の室内における作業では、被検者達は、水中に較べ心拍数の立上りもよく、16分間高いレベルで

維持されているが、作業後の回復過程において、心拍数のバラツキが目立ち、水中作業より疲労度が高いのではないかと思われたが、これは暑さによるあえぎであるこ

とがわかった。

表1, 2に示した膝反時の測定結果について, その数字を目で追う限りにおいては, 時間差が大きく写る。長村, 水野<sup>8)</sup>は「作業時の全身的疲労が作業強度, 作業時間に比例して進むとすれば, 反射時は疲労度と一致し, 膝濁法より合理的な疲労指標である」と述べているのと同実験の結果とはかなりよく一致しているといえよう。例えば作業開始前と終る直後の膝反時の差の有意性の検定では水中作業3名, 室内作業3名のわずか6例であるが, 5%の信頼水準において有意性を認めた。

しかし, 20分間の回復過程は, すべて椅坐位であり, 下腿はぶらりと下げられており, 表1, 2からも明らかのように, 5~10分の間に膝反時は回復するが, 20分後には, またその遅延が認められる。これは下腿が不自然な状態に放置されている結果ではなからうか。

いづれにしても自転車エルゴメーターによる作業では重労作を与えたとしても, これはエネルギー消費と補給能力の差による急性疲労であって, 被検者が疲れたと述べたとしても, 5~10分経過すれば, 以前のように活発に活動できるであろう。

Table 3 Heart Rate and Knee Jerk Reflex Time of Driving

	Quiet	Start	①	②	③	④	⑤	⑥
Heart Rate (beats/min)	60	64	64	62	58	66	72	78
Knee Jerk Reflex Time(msec)	109	90	149	184	193	149	232	200
Distance (km)	total							
	473.9		50	92.8	77.2	77.2	80.8	95.9
The Time Required (min)	368		75	65	51	55	50	72

Driving Course : Start—Route 22—→①NIT—Nagoya Inter Change—Tomei Expressway—→②Hamanako Service Area—→③Shizuoka Inter Change—→④Hamanako Service Area—→⑤Nagoya Inter Change—Meishin Expressway—Sekigahara Inter Change—Route 21—→⑥The Terminal Point.

表3に示した結果については, 起床直後の安静時測定値と, 準備等膝反時, 心拍数の測定に要した起床2時間後のスタート直前の測定値とは差が見られる。これは起床直後の身体的状態に対して準備等による軽い身体的労作がウォーミングアップとなり, 機能亢進となったのであろう。

自動車運転作業は, 右下肢によるアクセルペダル, ブレーキペダルの踏み代え, 同一姿勢保持による肉体的疲労ばかりでなく, 周囲の環境条件の変化に応じ, 適切な処置判断が下されるために視覚, 聴覚をはじめとする脳幹中枢も寸時の休みなく働き続けて, 謂ゆる精神的疲労も大きな要素を占めているものである。それ故に長時間ドライブともなれば, 精神的にも肉体的にも疲労困憊状態となる。本実験結果においては, 6時間の長距離連続ドライブが, 出発前の膝反時に比べ, ドライブ終了後は2.2倍の値を示し, しかも心拍数の増加を認めることができる。殊に心拍数に関しては, 出発より4時間経過頃までは, 少しの変動だけであったが5時間を経過する頃には, 時に毎分80を起すこともあった。

ドライブは決してランニングのように急激な心肺機能の変化を見るものではないが, このように時間の経過に伴って増加していることは明らかに疲労であるといえよう。膝反時は, 時間の経過とともに遅延されたが, 第4

測定点, 出発より4時間経過した時点では, 一時的な短縮がみられた。しかし, この時の被検者の状態は, はっきりと疲労状態を伺い知ることができ, 食さえも口にしないままであり, ジュースのみを欲した。つまり6時間のドライブ中, ジュース(200ml)2本とタバコ8本が被検者の要求したものであった。この第4測定点に到る約30分間, 非常に軽快な感じのドライブであり, 同乗者から見ると波に乗った流れるような運転に思われ, しかも膝反時の短縮となり, 疲労とは無関係のような錯覚さえ起こさせた。この地点を過ぎると膝反時は延長され, 自動車運転による精神的肉体的疲労は十分に認められ, Wickwire<sup>9)</sup>のいう膝濁と精神的疲労の関係についての報告とも一致する。

さて疲労状態と思われる中で, 一時的な機能亢進について, 検者らはこれに類似すると思われる他の結果を得た。土砂降りの雨中で行われた尾張地区高等学校のサッカー大会において, 蟹江高校イレブンに御協力を願い試合前, 試合直後, 試合15分後の膝反時の測定を試みた。その結果は表4として示す。

この結果全く意外なことは, イレブンの殆どの選手は試合に勝った元気をそのまま持ち, しかも膝反時は試合前よりも短縮されていた。膝反時の遅延は3名の選手だけであり, 他の選手は, 前と同じか或はそれより短縮し

Table 4 Knee Jerk Reflex Time of Soccer Game

Item Sub	age	Hight cm	Weight kg	Position	Reflex Time (msec)		
					before game	immediately after game	following 15min rest
1	16	168	51	F	147	160	253
2	16	163	55	F	102	217	191
3	16	167	59	F	105	104	218
4	16	165	54	F	153	131	263
5	15	165	56	F	151	142	205
6	16	173	59	B	134	119	268
7	17	177	68	B	128	115	195
8	16	161	56	B	160	177	228
9	16	167	72	B	148	183	218
10	16	169	56	B	101	95	157
11	16	176	72	G. K	161	104	284

ていたわけである。

疲労は個人差により平均値を用いることは危険であるが、イレブンの試合前の平均 181.27/msec に対し、試合直後では 149.72/msec となった。土砂降りとヌカミの中で前半戦30分、ハーフタイム5分、後半戦30分を闘いぬき明らかに疲労の色濃い彼らに膝反時では、何ら疲労を認め得なかった。しかしながら泥にまみれたからだを洗い、更衣を済ませてさっぱりした試合終了15分後再度測定を試みた。この結果表4に示したように膝反時は大巾に延長していた。この一時的に現われた反射機能の亢進は、アルコール飲用中の或る一時や、酸素欠乏のある時期にみられる<sup>10) 11)</sup> という状態に似ているのではなからうか。即ち、強度の疲労により大脳皮質の機能低下が起り、一時的に下位中枢(ここでは脊髄反射中枢)が脳幹中枢の脱制止となり、膝蓋腱反射機能亢進=膝反時の短縮となって現れたといえよう。(ちなみにサッカーの試合におけるエネルギー代謝率(RMR)は6.37といわれる。<sup>12)</sup>) しかしながらこの一時的な機能亢進がみられる時点ではすでに強度の疲労をきたし、更に作業を続行させることは、危険であることを知る一つの手掛りというべきであらう。

さて疲労しているといえる値の範囲は、安静時、または作業前の測定値とどれほどの差異を持つものであろうか。この報告で述べて来た15名(延18名)の被検者の作業前の膝反時と、作業後の疲労していると思われた時の膝反時との平均の差の有意性は、信頼水準0.1%限界においても非常に高い値で検定された。次式による結果は、 $t=12.56$ ,  $df=17$ ,  $p<0.001$  であった。

$$t = \frac{\bar{D}}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n^2(n-1)}}} \quad \left[ \begin{array}{l} n=18 \\ df=(n-1) \end{array} \right]$$

この検定においては、被検者数も少なく、これが疲労の限界であるという正確な値とはならないが、作業前と作業後の値の差からみたとき、有意性が認められたので、(作業後の膝反時)÷(作業前の膝反時)=1.4を求めた。

以上のように疲労測定の指標として膝反時を用い、安静時または作業開始前膝反時の約1.4倍の値をもって、疲労指標とすることができるのではなからうか。

#### 4. まとめ

1. 膝蓋腱反射時間の測定を行い疲労指標とした。
1. 自転車エルゴメーターを用い水中及び室内においてそれぞれ16分間のペダリング作業の結果、膝反時の遅延が認められたが、5~10分後には回復した。
1. 473.9km, 約6時間のドライブにおいては、膝反時は、出発前の値の2.2倍となり、心拍数も増加し、明らかに疲労状態を認めた。
1. 疲労状態の一時期に反射機能の一時的亢進が認められたが、その後膝反時は延長し、被検者は疲労状態であった。
1. 作業開始前の膝反時の約1.4倍の値をもって、疲労指標となるのではなからうか。

## 参 考 文 献

- 1) 上岡文雄, 体力に関する研究 (18) 膝蓋腱反射閾の季節的変動 日本生学誌 9. 596. S 19年
- 2) 上岡文雄, 体力に関する研究 (19) 日常生活時並に運動による膝蓋腱反射刺激閾の変動 日本生理学誌 9. 605. S. 19年
- 3) 上岡文雄, 体力に関する研究 (20) 災害頻発者と無災害者の作業時の膝閾の差異 日本生理学誌 9. 610, S 19年
- 4) 萩原 仁, 島田三千男, 疲労度よりみた運動強度の一考察 広島大教育学部紀要 5. 115. 1957
- 5) 河野 格, 交通疲労に関する研究 (其の四) 長時間自動車運転による身体的変化について 久留米医学会雑誌 23, 11, 5308 S 35年
- 6) 仁木庸次郎, 疲労計としての膝蓋腱反射閾値法に関する批判的実験 日本生理学誌 8. 299. S 18.
- 7) 鈴木一雄, 体力に関する研究 (24) 疲労指標としての膝蓋腱反射時(1) 日本生理学誌 9. 813. S 19年
- 8) 長村不二男, 水野一男 体力に関する研究 (25) 疲労指標としての膝蓋腱反射時 (2) 日本生理学誌 9. 1818. S 19年
- 9) Wickwire GC et al: Futher Study on the Threshold of Knee-jerk reflex as index to physical fitness. Amer, Jour, Physiol 123, 213 1938年
- 10) M, IKAI: Tonic neck reflex in normal persons. Jap, Jour, Physiol 1, 118 1950年
- 11) D, Matseff Muskelermüdung und allge meine Ermüdung. Theonie uord Praxis der Körperkultur 6 Jahrg Heft 8 718, 1957年  
Heft 9, 815, 823. 1957年
- 12) 山岡誠一, 蹴球試合のエネルギー代謝他, スポーツのエネルギー代謝に関する研究 体育学研究 1. 425. 1954年