局所筋活動後における 尺骨神経の伝導速度について

(昭和45年1月13日受付)

片岡 洵子

Conduction Velocity of Ulnar Nerve after Local Muscular Exercise

Japan Women's College of Physical Education Junko Kataoka

There exists a considerable literature on the peripheral nerve conduction velocity in man by means of evoked electromyography. Some of them have elucidated certain factors that influence conduction velocity. The work of Kato (1960) indicated that conduction velocity was affected by room temperature. It may be assumed that room temperature would affect temperature of tissue surrounding the nerve. On the other hand, Buchthal et al. (1944) and Saltin et al. (1968) showed that the muscle temperature rises during or after muscular exercise.

In the present experiment the maximal conduction velocity of ulnar nerve was measured after two minutes of rhythmical contractions of forearm flexors. Fifteen minutes after the work, the mean velocity for 12 cases increased 4.8m/sec. above the initial value.

After muscle exercise, skin temperature rose as well as girth of forearm. Conduction velocity was correlated with skin temperature but not with room temperature. The mean residual latency was 1.75 ± 0.06 msec (S.D.) for 10 measurements during the rest-period. After exercise the mean latency was shortened to 1.64 ± 0.26 msec. Paired "t"-test showed the difference to be significant at 0.01 level.

Kataoka, Junko; "Conduction Velocity of Ulnar Nerve after Local Muscular Exercise," *Journal of Physical Education*, Vol. 15, No. 1, pp. 33~41, July, 1970.

緒 言

誘発筋電図の近代的手法を用いて、ヒトの末梢神経伝導速度を測定するようになったのは Hodes et al. (1948) 以来だといわれる。その後においても、彼等が健康人と神経障害者の神経伝導速度を比較したように、臨床面における神経機能検査法の1つとして利用されている (R.F. Mayer 1963) 他は、健康人における末梢神経の基礎的な研究は未だ少ない。

そのうち、KATO (1960) の報告は、体育の分野においても興味あるもので、剣道やラグビー等各種の運動熟練者と非熟練者の運動神経伝導速度を比較した結果、これらの間には有意な差がないことを示した。

Polack (1965) は利き手側と反対側の尺骨神経伝導速度の測定を試みた。この結果も一応、左右の差は認められたが、その差は有意性に乏しいものであった。

しかし、測定時の室温、麻酔、血流障害等は神経の伝導速度に影響する因子として知られている。

生きてゆくヒトの生体に密着する問題は、室温が神経の速度に影響を及ぼす事実である。直接的には室温が神経周囲の組織温に変化を来した結果であると推定される。

一方、Buchthal と Lindhard (1944) や Saltin と Gagge (1968) は、局所筋活動が筋温を上昇させることを報告しているので、著者は、尺骨神経周囲の筋を活動させ、神経の伝導速度に変化が生ずるか否かを検討した。

方 法

健康な成人女子8名を被検者として、経皮的に尺骨神経上の肘と手首にそれぞれ超最大刺激を加え、尺骨神経の支配筋である小指球筋から誘発筋電位を導出した。

電極条件設定に関して：刺激電極は不関電極に縦5.0cm、横2.9cmの心電計用の電極を用い、関電極に直径10mmの皿状電極を使用した。電極貼布位置は、最大伝導速度をもつ神経線維上にあてられるように、筋電計のブラウン管で活動電位の振巾や立ち上りを観察しながら定めた。手首刺激電極間には食塩を浸したガーゼで銅板をくるんだ保護電極を貼着した。小指球上の双極表面記録電極は、先の皿状電極を用い、被検筋の筋腹上、筋線維の走行と並列に20mm間隔で装着された。又皮膚抵抗による影響は神経の興奮閾値の変化をもたらすことも考えられるので、アルコール綿で電極貼布部分を拭き、電極抵抗をできるだけ低くした。

装置：刺激装置は、出力、持続、頻度が任意に変えられる日本光電製電子管刺激装置を用い、肘と手首用の2つの isolater を介し、尺骨神経を刺激した。刺激の持続は短い方がよいとされているが強さ一時間曲線からわかるように、刺激閾値が高まり、十分な強さの刺激が得られなくなるおそれがあるので、0.3~0.5msecの刺激をした。刺激強度を増加させてゆくと、潜時は次第に短く、振巾は大きくなつてゆくことから Simpson (1964) は刺激強度は超最大刺激よりも少くとも30%以上のものがよいと報告している。しかし、あまり強すぎる刺激は他の部位の興奮をひきおこしたり、周囲の筋や神経を刺激し、測定上の障害となりうるので、本実験はこれらを考慮して行なわれた。誘発筋電位は日本光電製2チャンネル筋電計で撮影を行なつた。記録フィルムは引伸し機で9~10倍に映像を拡大して計測した。実験中の前腕屈筋側皮膚温をサーミスタ温度計で、前腕囲を巻尺で測定をした。尚、実験はすべてシールドルーム内で行なわれた。

Fig. 1 Stimulation was sent from stimulator to a point above wrist and to a point above elbow through each isolater. Subject repeated rhythmic contractions of forearm flexors with 2kg weight on her palm.

実験手順：実験は被検者が椅子に楽に腰をかけ肘関節を 90° に屈曲した状態で行なわれた。筋活動として、同じ姿勢で、手に 2kg の負荷をかけ、手首の屈伸運動をメトロノーム (120/min) のリズムに合わせて、2 分間行なつた (図 1)。刺激は、安静時および筋活動直後より 40 分～60 分迄、各 5 分間隔で行なつた。各回とも始めに肘関節部に 10 回、続いて手首関節部に 10 回の超最大刺激を与えた。刺激間隔は 3 秒とした。実験期間は昭和 44 年 6 月 4 日～10 月 9 日、室温は最低 20°C 最高 30°C であつた。

結 果

筋電計から得られた誘発筋電図 (M 波) を図 2 に示す。上は肘部刺激による筋の活動電位で、下は手首部刺激によるものである。S は刺激開始点、M は活動電位の立ち上りで、潜時は S～M、神経の伝導速度は、肘と手首の潜時差、刺激電極間距離とから計算された。第 3 図は、同一被検者の筋活動による潜時変化を示したもので、安静時 (A)、筋活動後 15 分目 (B)、30 分目 (C) の記録を抽出し、比較したものである。上の記録は肘刺激、下

Fig. 2 Upper record, stimulus above elbow; Lower record, stimulus above wrist; Conduction time from stimulus (S) to the start of a muscle twitch (M) can be measured by comparing with the time signal.

は手首刺激による。筋活動後 15 分目には安静時と比べ、潜時の短縮が明瞭であり、30 分目にはやや回復の傾向がみられる。同一被検者について、日を異にして得られた潜時の変化過程を 4 図に示す。実線は室温 25.5°C 、点線は 20°C の時に行なわれた。肘の潜時はどちらも、筋活動後は安静時の値から次第に減少してゆき、30 分過ぎには回復してゆく傾向がみられる。手首刺激では、一方 (実線) は、直後に減少するが 5 分後から 45 分迄は安静時

Fig. 3 Latencies of one subject: A, control; B, 15 minutes after exercise; C, 30 minutes after exercise; Upper group, Stimulus above elbow. Lower group, Stimulus above wrist.

Fig. 4 Latencies after exercise for one subject.
Differences from the control mean are plotted.
Room temperature 25.5°C,
— 20.0°C

Fig. 5 Conduction velocity, skin temperature and girth of forearm for one subject on time before and after muscle exercise.
—conduction velocityskin temperaturegirth of forearm

Fig. 6 Mean values of conduction velocity, skin temperature and girth of forearm for 12 cases plotted at time of determination.

より長くなり、他方（点線）は肘部の場合と同様に短縮してゆくのがみられる。肘の潜時が筋活動後短縮する結果は12例のすべてに観察されたが、手首潜時は3例において、筋活動後の潜時短縮がみられ、他の9例は安静時よりも潜時がわずかに長くなる傾向がみられた。12例で測定された安静時潜時の平均値と標準偏差は、肘 6.0 ± 7 msec, 手首 2.2 ± 0.4 msec であつた。

安静時50分と筋活動後60分の伝導速度、皮膚温、前腕囲の1例を5図に示す。実線は伝導速度 (m/sec), 点線は前腕の皮膚温 (°C), 一点鎖線は前腕囲 (cm) をあらわしている。安静時と比べ、筋活

動後における伝導速度、皮膚温、前腕囲はすべて明瞭な上昇を示している。伝導速度と皮膚温は、

TABLE-I

Conduction Velocity	t=4.50	p<0.001
Skin Temperature	t=4.87	p<0.001
Girth of Forearm	t=5.36	p<0.001

t values for 12 cases before and after muscle exercise.

TABLE-II

Subject	Room Temperature (°C)	Skin Temperature (°C)	Conduction Velocity (m/sec)
T. I	22.0	33.2	64.4
Y. I	26.0	32.1	62.4
J. K	23.5	31.8	62.8
S. A	25.5	33.0	64.0
K. T	26.0	33.5	66.0
T. I	26.0	32.6	57.1
J. K	30.0	34.2	61.3
T. W	26.0	33.7	61.3
K. H	29.0	34.6	59.8
K. H	29.0	35.2	55.2
T. I	24.0	32.4	53.5
J. K	22.0	30.9	57.2
S. A	20.0	29.7	45.9

Room temperature, Skin temperature and Conduction velocity of the control.

TABLE-I

	Control	15min	30min
Conduction Velocity (m/sec)	59.1 $\pm$ 5.8*	63.9 $\pm$ 5.5	63.3 $\pm$ 5.5
Skin Temperature (°C)	32.7 $\pm$ 1.9	34.0 $\pm$ 1.5	33.8 $\pm$ 0.9
Girth of Forearm (cm)	22.2 $\pm$ 1.2	22.4 $\pm$ 1.3	22.3 $\pm$ 1.1

* Standard Deviation

Mean value of conduction velocity, skin temperature and girth of forearm on time of control, and 15 and 30 minutes after exercise.

Fig. 7 Comparison of control residual latency and recovery residual latency. Mean values for 3 subjects.

Fig. 8 Relationship between room temperature and conduction velocity, (A) between skin temperature and conduction velocity, (B) and between the increasing value of skin temperature and conduction velocity after muscle exercise. (C)

ほぼ並行して10分目で最高値に達し、その後徐々に下降するが、60分目に於ても安静時の状態に回復していない。前腕屈は、直後に急激な上昇をみせるが回復ははやく、この例も20分目には安静時に戻っている。12例の平均値を6図に示す。安静時、15分目、30分目の数値を第一表に示した。tの値について、伝導速度と皮膚温では安静時と15分目、腕屈では安静時と15分目、腕屈では安静時と直後の値に関して行なつた。(表2) この結果から筋活動後の値は有意に変化していることが認め

られる。

測定時室温と、伝導速度は高い相関があることは定説化されている。しかし、本実験における安静時、12例の室温と伝導速度は表3や図8(A)に示されるように相関は認めがたい。同じく、安静時における皮膚温と伝導速度の相関図を図8(B)に示した。相関係数は0.68であつた。図8(C)は安静時の伝導速度と皮膚温の値を基準として、筋活動後における各々の上昇した数値の相関関係をみた。相関係数は0.78であつた。すなわち、伝導

速度は、室温よりも皮膚温に相関があり、筋活動後における皮膚温と伝導速度の相関は、安静時のものより高くなることが認められた。

この点については後で考察を加える。

肘と手首間の神経に関して求められた速度を用いて、刺激点から記録点までの距離を伝導するのに要する時間を計算すると、実際に観察される伝導時間より短くなる。Hodes らは両者の差を残余潜時 residual latency とよんでいる。

残余潜時が筋活動によつて影響を受けるか否かを安静時50分間、筋活動後50分間の測定値について検討した。3人の被検者の安静時と筋活動後のそれぞれ10回の測定値を、順に対にして、差の有意性について t 検定を行なった。結果は、 $t=4.39$ $p<0.01$ で、筋活動後35分以内の値のみについては、 $t=3.94$ $p<0.01$ であつた。

考 察

1) 温度に関して

Kato (1960) は、ヒトの神経伝導速度測定時における室温を 10°C から 45°C 迄上昇させた結果、 10°C から 30°C 迄は有意に上昇し、 30°C から 45°C の間では有意な変化をしないことを報告している。本実験においても室温が影響していると思われる結果がいくつかあつた。例えば、比較的暖かい時期に行なわれた9例においては、手首刺激による潜時が筋活動後に延長する傾向がみられたが比較的低温時の3例では、短縮が認められた。又、同一被検者について、室温の異なる日に撮られた記録を比較すると、安静時から筋活動後50分間に亘る伝導速度のグラフの形は変化しないが伝導速度の絶対値には著しい相異をみせた例もあつた。(表3 subj. S.A) しかし、本実験では、室温と伝導速度の間に一義的な関係はみとめられなかつた。Kato による報告との相違は実験条件によるものと考えられる。Kato の測定時室温は、ストーブや電灯で人為的に20分間の室温ならびに前腕上の温度調整を行なったものであり、著者の測定は室温に特別な操作は施さず自然の状態で行なつたものである。被検者が急激な環境温度変化の中に短時間のあいだ置かれているのと、自然環境温度の刻々とした変化の一端に置かれた場合の

体温調節機構へ及ぼす影響は、おのずと異なるであろう。従つて、体温調節機構への影響は、伝導速度や、潜時にも変化を及ぼしたものと考えられる。このことは、体温と伝導速度に相関がみられたことからいえるであろう。(図8B)

Saltin と Gagge (1968) のように皮膚温と筋温とは相関がないことをのべている人もいるが Buchthal (1944) は、1) 大変短い間隔の実験でも筋温は活動停止後上昇する。2) 運動期間が終れば、筋温は徐々に下降する。3) 被検者が皮膚を表出して、ずっと坐っている時、筋温は徐々に下降することを報告している。

この傾向は、本実験で測定された皮膚温の傾向と全く一致しており、筋活動による筋代謝の亢進は、筋温を上昇させ、皮膚温にも反映するものと考えられる。Basmajian (1962) は安静時の伝導速度が始めの30分間位、その後の測定値より高い値を示すことを報告している。これは測定時における前腕の長い表出が筋温の低下を来とし、伝導速度の下降を生じたとも推察出来る。

皮膚温の変化に関与すると思われるもう1つの因子に血流の変化が考えられる。

筋活動後に血流の増加がみられる (Shepherd 1963, Walder 1968) ことは、前腕囲の増大からも示唆される。しかし、筋温の上昇は血流よりも筋自体の代謝の亢進といわれる (Buchthal 1944)。この説を考慮して、血流の変化が筋温の上昇に関与しないとしても、前腕囲の増大から推察される血流量の変化は、皮膚温の上昇、伝導速度の変化に何らかの形で参与していると思われる。例えば血管周囲の神経そのものを温めたり、血管に近接する組織の温度を高めているかもしれない。

測定時室温に関することの他に気候風土の異なる人種間について伝導速度を比較した結果、有意差が認められないことが明らかにされた。(Roger 1967) これは神経が皮膚温と共に、恒常性を保っていることを説明するかもしれない。

2) 残余潜時 residual latency

Basmajiam (1967) は、彼の測定した残余潜時の値が一定して 1.5 msec. であることをのべ、残余潜時を構成する要素と、神経衝撃がそれぞれの要素を経過する時間を次の如く記している。1) 細

い神経終末枝の Slowing が 0.2msec. 2) 神経—筋伝播, 又はシナプス遅延 0.5msec. 3) 神経筋伝達物質が終板膜受容器と結合する時間 10 microsec. もない 4) 終板電位が生じ, これが筋の閾値に達し, 活動電位を生ずる時間, 0.85msec. この4つを合計すると約 1.55msec. となる. 本実験で計算された安静時残余潜時の値は 1.73 ± 0.06 で上記の値よりやや高い. 筋活動直後より50分迄の平均値は 1.64 ± 0.26 (第7図) であり, 肘と手首間の伝導速度の変動以外に, これらの4つの要素も又, 筋活動によつて変化していることがわかる. しかし, それぞれの要素の変化状況に関する推論は現段階では出来ない.

測定時室温や局所筋活動が以上のような末梢要素のみに影響を及ぼすのか, あるいは中枢要素にも影響を与えているのかは今後の課題となるであろう.

3) 筋活動(身体活動)の期間とその効果について

Kato は長期にわたつて身体訓練を経た選手, 32名について, 尺骨神経伝導速度を測定した結果, 一般人との間に差がないことを見出した. しかし身体活動による一時的な伝導速度の上昇は, 本実験から充分考えられ, ウォーミングアップ等には有効であろう. それは, 2分間という短時間の局所筋活動でさえ, 50, 60分後には下降の傾向はみえても安静時の値には戻っていないからである.

この意味から, 負荷や時間等の実験条件を変化させ, さらに回復過程の記録を延長させた追跡調査が必要であろう. 又, 私の得た伝導速度上昇値が2分間の筋活動ののち15分目で 4.8m/sec. であることから推察すると, この上昇する数値が運動の成績をあげるようなものに結びつくか否かは検討の余地がある.

4) 運動神経の性質について

運動神経の伝導速度は長期にわたる身体訓練に効果がないこと, 利き手の伝導速度に優位性がないこと, 環境温度の異なる人種間に差がないこと等の報告は既に記したとおりである. 又, 測定時の室温変化は伝導速度に影響を与える(Kato1960)が, 本実験から季節変化によつて異なる室温のもとでは神経の伝導速度と室温とは相関が認められなかつた.

既に知られている血流圧迫や麻酔に加えて, 今回行なわれた2分間の局所筋活動による伝導速度の変動は, 以下の如き考察をせしめた.

運動神経は年令等による生物学的な変化を考慮しなければ, 一時的な刺激に対しては変化を来たすが, その変化は又, 必ず元に戻りうることが予想され, 個人個人の伝導速度はある一定の条件下においては一生を通じて, 一定した値をもつことが推察される.

総 括

1) 誘発筋電図法を用いて, 2分間の局所筋活動を行なわせ, 活動前後における尺骨神経伝導速度の測定を行なつた. 同時に前腕皮膚温, 前腕囲が記録された. 室温は実験直前に記された.

2) 筋活動後, 尺骨神経の伝導速度はすべての被検者において, 上昇する傾向があつた. 皮膚温と前腕囲もすべての例において上昇した.

3) 伝導速度と室温は相関がみられなかつた. しかし, 伝導速度と皮膚温には相関が認められた.

4) 筋活動後の残余潜時の値は, 安静時と比べやや短縮する傾向がみられた.

5) 運動神経の性質に関する項で, 個人個人の伝導速度は, 一定の条件下に於て, 常に一定であることが論じられた.

本稿は, 当研究室主任早弓惇先生の指導によるものである. 又, 実験に際しては, 同僚の池浦敏子氏を始め, 研究室の諸氏から暖かい援助を受けた. 謹しんで感謝の意を表します.

文 献

- Hodes, R. and Larrabee, M.G. and German W. 1948
The Human electromyogram in response to nerve stimulation and the conduction velocity of motor axons, Arch. Neurol. and Psychiat. 60, 340-365.
- Mayer, R. F.: 1963
Nerve conduction studies in man, Neurology, 13, 1021-1030.
- Masamichi Kato: 1960
The conduction velocity of the ulnar and spinal reflex time measured by means of the

H wave in average adults and athletes,
Tohoku J. Exper. Med., 73, 74-85.

Polak, O. Grof, P: 1965

Ulnar nerve conduction velocity and Dominant
Laterality, Electromyography, 5.

Buchthal, F, Hønecke, P and Lindhard, J:
1944

Temperature measurements in Human Mus-
cles in Situ at Rest and during muscular
Work, Acta Physiologica Scandinavica, 8,
230-258.

Saltin B, and Gagge A.P.: 1968

Muscle temperature during submaximal exe-
rcise, Acta Physiologica scandinavica, 73.

Simpson, J.A.: 1964

Fact and fallacy in measurement of condu-
ction velocity in motor nerves, J. Neurosurg.
Psychiat., 27, 381.

**Low, M.D., Basmajian, J.V. and Lyons,
G.M.:** 1962

Conduction velocity and residual latency in
the human ulnar nerve and the effects on
them of ethyl alcohol, Am. J. Med. Sc., 244,
720-730.

Walder, D.N.: 1968

Some factors determining blood flow in exe-
rcising human calf muscle, Circulation in
skeletal muscle.

Shepherd, J.T.: 1963

Effect of exercise on Limb circulation., Phy-
silogy of circulation in Human Limb in
Health and Disease, chapter 7, 139-167.

Basmajian, J.V.: 1967

Muscles Alive, The Williams and Wilkins
Company.

**Thies, R.E. Billinghamurst, J.R. and Rich-
ardson, H.D.:** 1967

Moter nerve conduction velocities in healthy
young East Africans, J. Appl. Physilo., 23(3)
321-323.