

下肢肢位変化による反応時間とH波の変動性

笠井 達哉 (国土館大学体育学部体育心理学研究室)

(昭和55年11月18日 受付)

Variable Amount of Reaction Time and H-Reflex on Position Changes of the Hip Joint

Tatsuya Kasai¹

Abstract

Postural changes and the difference of attitudes influence the reaction time of a limb muscle. The present study is a modification and extension of previous studies on influence of the position changes in the hip joint on the electromyographic reaction time (EMG-RT) and on the H-reflex of the soleus muscle in normal human subjects. Primarily, the aim of this study was to explore the relevant neurophysiological mechanisms which control reaction time.

In experiment I (Exp. I), the EMG-RT from the 20 subjects (16 males and 4 females) who reacted the plantar flexion at peep sound (1000 Hz, 100 db, 100 msec duration) were recorded from the soleus muscle at three different positions of the hip joint (neutral, externally and internally rotated positions).

In experiment II (Exp. II), H-reflexes were elicited in the soleus muscle at the static three hip joint positions. In this case, H-reflexes were recorded under two conditions; one where the subjects' hip joint position was changed passively by the experimenter (20 subjects) and the other where the subjects voluntarily changed their hip joint position (10 subjects). In this way, obtained H-reflexes were measured from peak to peak. Those amplitudes of H-reflex were examined as an indicator of activation of alpha-motoneurons pool.

Major results may be summarized as following:

1. The EMG-RT of internally rotated position was longer than that of neutral position, and the EMG-RT of externally rotated position was shorter than that of neutral position (Exp. I).
2. In both conditions, the H-reflex amplitudes of internally rotated position were smaller than those of neutral position, and the H-reflex amplitudes of externally rotated position were larger than those of neutral position (Exp. II).
3. Especially, this tendency was remarkable when the subjects voluntarily changed their hip joint position (Exp. II).

From these results, the relevant neurophysiological mechanisms which control reaction time were discussed, and the scheme for an explanation of the relationship between the changes of

¹ Kokushikan University, Faculty of Physical Education, 4-28-1, Setagaya, Setagaya-ku, Tokyo (154)

reaction time and the excitabilities of alpha-motoneurons pool was suggested.

(Tatsuya Kasai, "Variable amount of reaction time and H-reflex on position changes of the hip joint", *Jap. J. Phys. Educ.*, 26-2: 129-35, September, 1981)

はじめに

運動巧緻性の一要素である運動開始の早さをみるために、反応時間測定法が用いられる。

肢位や運動の方向が反応時間を短縮する促通効果をもつことは、中村²³⁾、筆者¹⁶⁾ら、が上肢のPNF (proprioceptive neuromuscular facilitation) についてすでに報告している。これらは、Kabat¹⁴⁾、Knott and Voss²²⁾により主張された、回旋・対角線上の運動が筋力増強、筋運動協調を目的とした筋再教育に役立つとする仮説を実証したものである。それらによると肩の protraction は筋活動を促進するといえ、motor skill を取り扱う時には、かならずその位置と運動方向の自由度を考慮に入れなければならない、近位関節の作用は軸関節と全く異ったものであることも考慮すべきであるとしている^{8),23)}。

しかし、下肢についても上肢においてみられた肢位と反応時間の関係が成立するとしながらも、上下肢の末梢刺激に対する反応様式には何か本質的差異があるとしている^{5),24)}。

そこで、本実験は下肢の肢位変化をモデルに、底屈動作の反応時間が肢位変化によってどのように変化するかを検討した。また同時に、その肢位

変化時にH波を記録しその振幅変化から肢位変化による末梢からの feedback 情報が脊髄の α -運動ニューロンの興奮性をどのように変化させるかも検討した。これらから運動巧緻性の一要素である運動開始の早さに影響する神経生理学的背景について検索することを目的とした。

実験 I ; 反応時間の変動性

1 方法

被験者は健康な体育学部学生20名(男子16名、女子4名)を用いた。

被験者には反応動作として右下肢足首の底屈反応動作を行わせた。その際以下の3つの肢位をとらせた(図1)^{22),24)}。

- 1) 被験者は高い椅子に楽に坐り、足首は床から離れるようにした。股関節90°屈曲、0°回旋、膝関節90°屈曲(中間肢位; neutral position; N)。
- 2) 同上の姿勢で股関節を30°外旋位に保つ(外旋肢位; externally rotated position; ER)。
- 3) 同上の姿勢で股関節を30°内旋位に保つ(内旋肢位; internally rotated position; IR)。

EMGは表面電極を用いて、下腿三頭筋(ヒラメ筋)から記録した。この時、ACアンプの時定

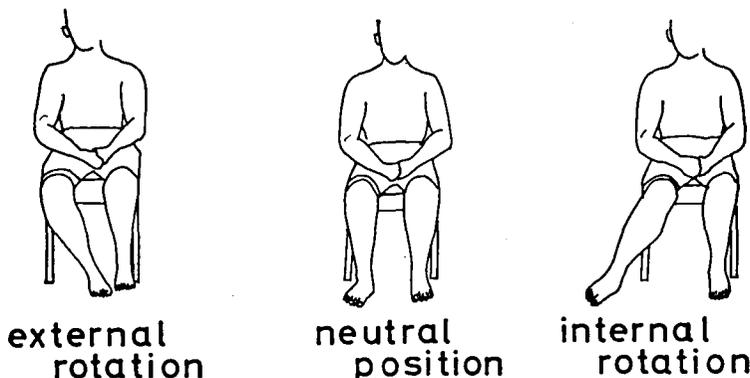


Fig. 1 Schematic representation of position changes of the hip joint. Neutral position is at 90° flexion of the hip joint, 0° rotation, and 90° flexion of the knee joint. The hip joint is rotated at 30°, respectively, for the externally or internally rotated positions.

数は0.03秒で、メモスコープ(ATAC-350; 日本光電社製)上に記録したEMGの立ち上がりまでを1msec単位で計測した。これは一般には、premotor time (PMT), 一部には electromyographic reaction time (EMG-RT) と呼ばれているものである。EMG-RTは安静時に不随意放電があると立ち上がりが不明になるため、被験者を十分弛緩させる必要があり、また被験者の姿勢、肢位、必理状態も反応時間に影響するため、試行の間はできるだけ緊張をさげさせた。被験者に“ヨーイ”という予告のあと3-4秒で1000Hz, 100db, 100msec durationの短音をスピーカーから聞かせ、この信号で速やかに反応動作を行わせた。試行間隔は15-20秒とした。

測定順序は、それぞれ3つの肢位で、6試行を1ブロックとして5回、それぞれ30試行を行わせた。この際、それぞれの肢位による測定順序はランダムとした。得られた30試行の内、それぞれの肢位の最初の1ブロックおよび肢位を変えた時の最初の試行のEMG-RTは、データから除外した。この手順によって、練習効果の影響、前の試行の影響を除外できる。残りの20試行ずつをそれぞれの肢位における個人のEMG-RTとして統計処理を行った。この20回程度のEMG-RTを幾何平均することから、それぞれの肢位におけるその個人の反応時間を代表しうることがわかって^{12),27)}。

2 結果

表1は、全被験者20名のそれぞれの肢位におけるEMG-RTの平均値と標準偏差を示したものである。これより外旋肢位(平均±標準偏差; 110.8±12.2 msec)は中間肢位(121.7±13.3 msec)よりEMG-RTは有意に短かった($t = 6.54, df = 19, p < 0.001$)。そして内旋肢位(127.9

±13.2msec)は中間肢位より有意に長かった($t = 3.77, df = 19, p < 0.01$)。また、外旋肢位と中間肢位とのEMG-RTの平均値の差は10.9msec, 中間肢位と内旋肢位との差は6.2msecであった。

実験 II ; H波の変動性

1 方法

被験者は、肢位変化を他動的に行わせた場合における測定では、神経的疾患のない体育学部学生20名(男子16名, 女子4名)であった。肢位変化を随意的に行わせた場合における被験者は、体育学部学生10名(男子7名, 女子3名)であった。なお、肢位変化を他動的に行わせた条件下における被験者は、実験Iにおける被験者と同一人であったが、随意的に肢位変化を行った条件下では、5名(男子4名, 女子1名)が実験Iと他動的に肢位変化を行わせた条件下における被験者と同一人であった。残り5名は、本実験において初めての被験者であった。よって、全被験者中5名はすべての実験における被験者となった。

H波は自作の刺激電極を膝窩部脛骨神経刺激点に軽く圧迫するように固定した。この状態で電気刺激装置(日本光電社製SEN-7103)で1msec durationの矩形波を刺激として用いた。H波はヒラメ筋上に装着した表面電極より時定数0.03秒で導出し、メモスコープ上に記録した。この時、電気刺激の強度はM波閾値の1.1-1.2倍とし、M波が一定であることを規準に同一強度を用いた。

H波はいろいろな心理的・生理的条件によってその振幅が変化するので¹⁵⁾、その影響を除外するため被験者は閉眼で上肢はできるだけく姿勢をとらせ、大腿部までを膝の角度と足首の角度が自由に調節可能なギプスにより固定した。また、3肢位ともその肢位をとった時、刺激電極がつかないようにするため膝角度は実験Iにおける90°から135°に変更し固定した。

H波は実験Iの場合と同様3つの肢位において記録した。この時、3つの肢位を他動的にとらせた時と被験者が随意的に行った時との二条件下で、H波を記録した。こうして得られたH波はそのpeak to peakを計測した。測定は、N→ER→N→IR→Nの順序で10回連続して行った。得ら

Table 1 Means and standard deviations of reaction time for three positions (20subjects).

Neutral position	Externally rotated position	Internally rotated position
mean (SD)	mean (SD)	mean (SD)
121.7(13.3)	110.8(12.2)	127.9(13.2)

Note: Values are in milliseconds.

れたERとIR時のH波の振幅をその前後のN肢位時の平均H波振幅(100%)との比を求め10回の平均値をその個人の代表値とした。

2 結果

図2のAは、他動的に3つの肢位をとらせた時のH波の変化を示した記録例である。これから各個人のERおよびIR肢位時のN肢位時におけるH波との比を求めてプロットしたものが図2のB(1)である。これより、ER肢位時にN肢位に比べて平均値で5%のH波の増大が認められた。IR肢位時には、N肢位時のH波に比べて平均値で13%の減少が認められた。

図2のB(2)は、3つの肢位を随意的にとらせた時のH波の変化を図2のB(1)と同様の方法でプロットしたものである。これより、ER肢位時にN肢位時に比べてH波は平均値で11%の増大を示し、IR肢位時に32%の減少を示した。

これらより、3つの肢位変化を他動的にとらせ

ること、あるいは随意的にとらせることに関係なく、H波振幅はN肢位時に比べてER肢位時に増大し、IR肢位時に減少した。そして、その傾向は3つの肢位変化を被験者が随意的に行った時の方がより著明な形で認められた。

考 察

3つの肢位変化によってEMG-RTは変化した。それは、ER肢位時に最も短いEMG-RTを示し、IR肢位時に最も延長した。

また、この3つの肢位変化時に下肢ヒラメ筋からH波を導出しその振幅変化を調べたところ、ER肢位時にはN肢位時に比べてH波の振幅は増大した。IR肢位後においてはN肢位時に比べて減少した。その上、この3つの肢位を被験者に随意的にとらせ、H波の振幅変化を調べたところ、他動的に肢位変化を行わせた時に比べてH波の振幅変化は、同じ傾向であったがより著明な形

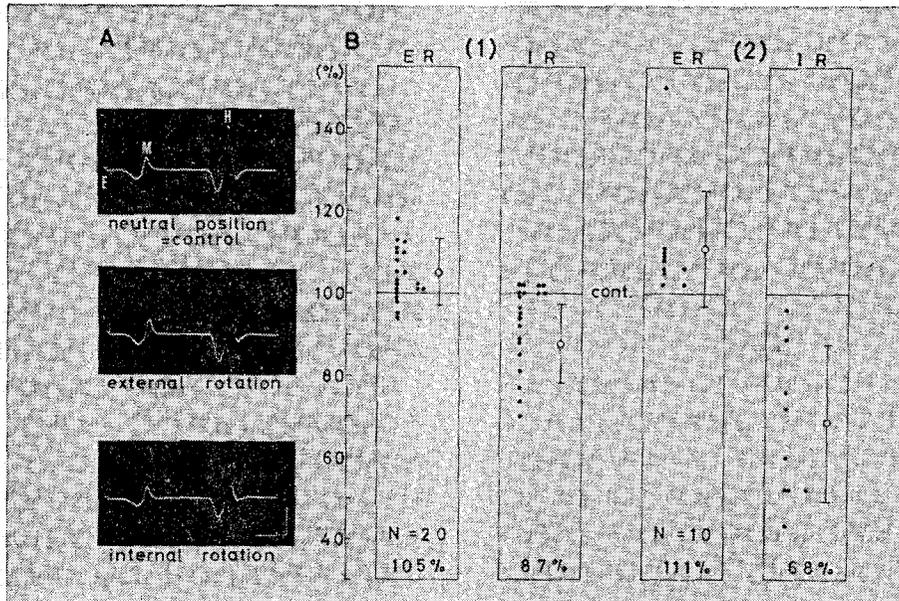


Fig. 2 Example records of H-reflex and results of individual H-reflex amplitudes for two positions in comparison with neutral position (100%). B-(1) is the results of elicited H-reflex amplitudes when the subjects' hip joint is changed by the experimenter. B-(2) is the results of elicited H-reflex amplitudes when the subjects voluntarily change their hip joint. Under both conditions in case of externally rotated position amplitudes of H-reflex were larger than those of neutral position, and in case of internally rotated position amplitudes of H-reflex were smaller than those of neutral position. More specifically, this tendency was more remarkable when the subjects voluntarily changed their hip joint.

で認められた。

反応動作の発現に影響を与える要因について、中枢神経系は1つの階層構造を形成し¹³⁾、その結果、上位中枢に形成された運動プログラムの違いによって変動するという説^{4),9),10),11)}、それらが末梢からの feedback 情報によって修飾をうけ変動するとする説^{30),31),32)}、また運動の種類(例えば rapid or ballistic movement か lamp movement か)によって両者の統合の結果として変動するとする説^{1),2),3)} などがある。これらの中で、末梢からの feedback 情報によって反応動作の現われ方に変動が生じるということに関し最近中村^{25),26),28)}ら、また筆者¹⁶⁾は上肢の肢位変化による反応動作をモデルにその時得られた反応時間の遅速から興味ある報告をしている。それらによると、たとえば上腕二頭筋のEMG-R Tは肘屈曲位より伸展位ではやくなり、上腕三頭筋ではその逆となる。近位関節(肩・股)の肢位変化はそれぞれ四肢筋のEMG-R Tにもかなりの変化を与える。そしてこれらの変化を生じさせる中枢として小脳、視床、前頭葉は姿勢変化についての feedback 情報を取り込んだ上で反応動作を開始するのに重要な役割をはたしているとしている。

本実験Ⅰの結果から、下肢の肢位変化によってEMG-R Tは変動した。このことは、肢位変化による末梢からの feedback 情報により反応動作の開始は影響を受けるとする前述の中村ら、筆者の報告を支持する。しかも、近位関節(本実験では股関節)の肢位変化は、その肢位変化の方向性の違いによって基本肢位に対して、促進・抑制の両作用を受けることが示唆される。

ところで、こうしたEMG-R Tの遅速、つまり反応動作の発現の早さに影響する肢位変化はその神経生理学的背景としてどのようなメカニズムに依存しているものなのであろうか。この点をたしかめるためにそれぞれの肢位変化時にEMG-R Tを記録した筋(ヒラメ筋)からH波を導出しその振幅変化を手がかりに調べたものが実験Ⅱの結果であった。それによるとまず、他動的に肢位変化を行った時のH波の振幅は、EMG-R Tが長かった内旋肢位時にその振幅は基本肢位に比べて減少し、EMG-R Tが一番短かった外旋肢位

において増大した。H波の振幅とEMG-R Tは負の有意な相関関係を示すことはすでに報告した¹⁷⁾。それによると、運動発現の最終共通路である α -運動ニューロンの興奮性が高い時EMG-R Tは短縮する。そしてその背景には long loop reflex, transcortical reflex あるいは supraspinal control の関与が示唆されている^{6),17),29)}。このことから、肢位変化による feedback 情報は上位中枢(中村らによると小脳、視床、前頭葉など)を介して、促進と抑制の二方向の指令を α -運動ニューロンに送っていることが示唆される。なお、これは、肢位変化を被験者が随意的に行った時の方がより著明に認められたことから long loop reflex の発現において、入力系と出力系の統合過程に関わる随意的な働きの重要性を仮定した E. V. Evartsと J. Tanjiの言う“Gating理論”⁷⁾を支持する結果であるといえる。

そこで、反応時間の遅速に影響する神経生理学的背景は図3に示したスキーマとして考えると非常に理解しやすいように思われる。つまり、反応時間の遅速が反応出力系の問題として一つに運動プログラムの違いに依存するとするならば^{18),19),20),21)}、 $T \cdot F_1$ によって示されるようにその時の脊髄 α -運動ニューロンの興奮性が一定であれば F_n と F_a の直線との交点 F_1 と F_0 、つまり rt_2 と rt_3 の反応時間を示す。そして、 rt_3 と rt_2 の差だ

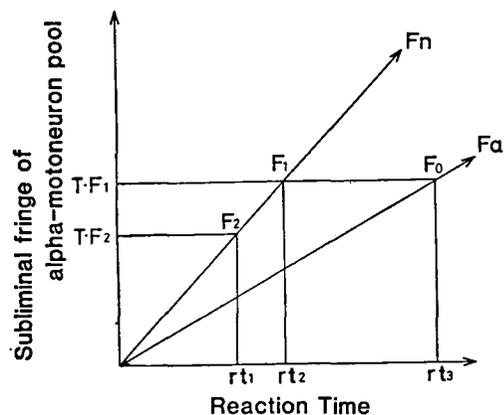


Fig. 3 Scheme for an explanation of the relationship between the changes of reaction time and the excitabilities of alpha-motoneurons pool. F_n and F_a shows the difference of motor output system which reflects differences of motor program.

け反応時間の違いが生じる。ここでいうFnとFaは反応出力系における運動プログラムの違いをも含めた出力系の関与の違いを仮定した回路を示している。一方、運動パターンつまり運動プログラムは同じで、末梢からの feedback 情報によって反応時間が変化する場合、末梢からの feedback 情報によって α -運動ニューロンは当然その興奮性に影響をうけているはずであるから、Fnの直線によって示されるように、その時の脊髄 α -運動ニューロンの興奮性の違いによってそれぞれF₁とF₂の地点、つまりrt₁とrt₂の反応時間を示す。この時rt₁とrt₂の差だけ反応時間の違いが生じるものと考えられる。この時、縦軸つまりT・F₁、T・F₂は、ある運動の発現に際しその時の α -運動ニューロンプールの興奮性が高いとその運動は容易に発現し、EMG-RTとH波振幅とが負の相関関係を示すことの神経生理学的背景を説明しうるものである。

本実験I・IIから得られた結果はこのスキーマによって示された仮説に非常によく合致する。このことから、このスキーマは運動パターンの違いと肢位変化による反応時間の変動性を説明する仮説として妥当性があると考えられる。

ま と め

下肢肢位変化時に足首底屈反応動作のEMG-RTとH波を記録しそれらの変動性を調べたところ次のような結果を得た。

- 1 EMG-RTは他動的に下肢股関節30°外旋位をとらせた時最も短かく、内旋位で最も長かった。
- 2 H波振幅の変化は、中間肢位に比べて外旋位で増大し、内旋位で減少した。
- 3 しかもこの時、肢位変化を被験者に随意的に行わせた時の方が他動的に行わせた時に比べてこの傾向は著明であった。

以上の結果から、反応動作の発現の早さに関し、末梢からの feedback 情報の影響についてその神経生理学的背景を考察した。また、反応動作の発現の早さに影響する運動プログラムの違いと末梢からの feedback 情報がどのような機序のもとに反応時間の遅速として出現するかということに関

するスキーマを推定した。

本研究は昭和54年度文部省科学研究助成金(奨励研究A)によった。また本論文の概要は第31回日本体育学会(東京;1980年)において報告した。

引用・参考文献

- 1) Angel, R. W., "Electromyography during voluntary movement the two burst pattern," EEG Clin. Neurophysiol., 36: 493-98, 1974.
- 2) Angel, R. W., "Electromyographic patterns during ballistic movement of normal and spastic limbs," Brain Res., 99: 387-92, 1975.
- 3) Angel, R. W., "Antagonist muscle activity during rapid arm movement: Central versus proprioceptive influences," J. Neurol. Neurosurg. Psychiat., 40: 683-86, 1977.
- 4) Brooks, V. B., "Some examples of programmed limb movements," Brain Res., 71: 299-308, 1974.
- 5) Cohen, L. A., "Manipulation of cortical motor responses by peripheral sensory stimulation," Arch. Phys. Med. and Rehab., 50: 495-506, 1969.
- 6) Evarts, E. V., "Motor cortex reflexes associated with learned movement," Science, 179: 501-03, 1973.
- 7) Evarts, E. V. and Tanji, J., "Gating of motor cortex by prior instruction," Brain Res., 71: 479-94, 1974.
- 8) Gellhorn, E. and Johnson D., A., "Further studies on the role of proprioception in cortically induced movements of the foreleg in the monkey," Brain, 73: 513-31, 1950.
- 9) Hallett, M., Shahani, B. T. and Young, R. R., "EMG analysis of stereotyped voluntary movements in man," J. Neurol. Neurosurg. Psychiat., 38: 1154-62, 1975.
- 10) Hallett, M., Shahani, B. T. and Young, R. R., "EMG analysis of patients with cerebellar deficits," J. Neurol. Neurosurg. Psychiat., 38: 1163-69, 1975.
- 11) Hallett, M., Shahani, B. T. and Young, R. R., "Analysis of stereotyped voluntary movements at the elbow in patients with Parkinson's disease," J. Neurol. Neurosurg. Psychiat., 40: 1129-1135, 1977.
- 12) Hamsher, K. S. and Benton, A. L., "The reliability of reaction time determinations," Cortex, 13: 306-10, 1977.
- 13) Harris, F. A., "Multi-loop modulation of motor outflow," Phys. Ther., 51: 391-97, 1971.

- 14) Kabat, H., "Central mechanisms for recovery of neuromuscular function," *Science*, 112: 23-24, 1950.
- 15) 笠井達哉「反射増強法に関する研究」国士館大学体育学部紀要, 6: 31-40, 1980.
- 16) 笠井達哉「上肢肢位変化による反応時間の変動量」国士館大学体育学部紀要, 7: 57-62, 1981.
- 17) 笠井達哉「脊髓の興奮性と反応時間の関係」体育学研究, 25: 95-104, 1980.
- 18) Kasai, T., Nakamura, R. and Taniguchi, R., Variable amount of reaction time on changing movement patterns. (in preparation).
- 19) 笠井達哉; 運動パターンの違いによる反応時間の左右差——そのスポーツ種目特性——身体運動の科学V (印刷中)
- 20) 笠井達哉「運動パターンの違いによる反応時間の変動量——予告刺激の有無と肢位変化による影響について——」体育学研究 (投稿中).
- 21) 笠井達哉・小林朝子「運動パターンの違いによる反応時間の変動量——両手前腕同時反応動作について——」体育の科学, 31: 557-560, 1981.
- 22) Knott, M. and Voss, D. E. (福屋靖子・鎌倉矩子・大川博子・寺山久美子訳), 神経筋促進手技, 協同医書出版, 1976.
- 23) 中村隆一・斎藤 宏・Eric Viel「促進肢位と反応時間——上肢について——」総合リハ, 1:1190-94, 1973.
- 24) 中村隆一・斎藤 宏「促進肢位と反応時間——下肢について——」総合リハ, 2:583-87, 1974.
- 25) Nakamura, R. and Viel, E., The influence of position changes in the proximal joint on EMG-recorded reaction time on key muscles in the human extremity. *Pro. 7th. Int. Congr. W. C. P. T.*, 1974.
- 26) Nakamura, R., "Postural dependence of reaction time in normal subjects and patients with focal brain lesions," *Appl. Neurophysiol.*, 39: 321-25. 1976/77.
- 27) 中村隆一・谷口礼二「筋電図による反応時間の測定」臨床生理, 6:223-29, 1976.
- 28) Nakamura, R. and Taniguchi, R., "Reaction time in patients with cerebral hemiparesis," *Neuropsychol.*, 15: 845-48, 1977.
- 29) Phillips, C. G., "Motor apparatus of the baboon's hand," *Proc. Roy. Soc. B.*, 173: 711-38, 1969.
- 30) Soechting, J. F., "Modeling of a simple motor task in man: Motor output dependence on sensory input," *Kybernetik*, 14: 25-34, 1973.
- 31) Terzuolo, C. A., Soechting, J. F. and Viviani P., "Studies on the control of some simple tasks. I. Relations between parameters of movements and EMG activities," *Brain Res.*, 58: 212-16, 1973.
- 32) Terzuolo, C. A., Soechting, J. F. and Viviani, P., "Studies on the control of some simple motor tasks. II. On the cerebellar control of movements in relation to the formation of intentional commands," *Brain Res.*, 58: 217-22, 1973.