随意動作に伴う脳運動関連電位

—特に運動電位，運動後陽性電位についての考察—

西 平 賀 昭（筑波大学体育科学系）

荒 木 秀 夫（筑波大学体育科学系）

藤 田 紀 盛（筑波大学体育科学系）

（昭和54年10月29日 受付）

Movement-Associated Cortical Potential Accompanying Voluntary Movement —with Special Reference to Motor Potential and Positive Potentials after Movement—

Yoshiaki Nishihira ¹

Hideo Araki ¹

Tatsumori Fujita ¹

Abstract

The study of movement-associated cortical potential was first reported by H.H. Kornhuber and L. Deeke in 1965. The reports as to N₁ potential (readiness potential) of movement-associated cortical potentials beginning 800msec-1500msec in advance of voluntary movement were presented by many investigators, and agreement was reached on some of the points. However, some of the points still remained disagreed. Therefore, the present authors had investigated the relation of N₁ potential with motor control and the difference between N₁ potential and CNV, up to the present, and presented some of the findings. Then, the authors have attempted at elucidating the significance of N₂ potential (motor potential) beginning 91-187msec in advance of voluntary movement, P₂ potential (the first positive potential after movement) beginning about 160msec after voluntary movement, and P₃ potential (the second positive potential after movement) beginning about 263msec after voluntary movement which are constituting the movement-associated cortical potentials, and a few findings have been presented in the previous report. However, data that supported their findings remain inadequate, up to the present.

The present study, therefore, was intended to investigate, in more detail, the relations of N₂ potential, P₂ potential, and P₃ potential to the motor control, with the method of simultaneous measurement of movement-associated cortex potentials, S.S.C.P (somatic, stimulus, cortex, potential) and cortex potential accompanying passive movement. Such method has been applied to the human subjects in very limited occasions.

The following results were obtained:

¹ The University of Tsukuba, Institute of Health and Sport Science, Niiharigun Ibaraki (305)

1) The distribution over the scalp of N_2 potential showed maximum at C_3 in case of voluntary right upper arm flexion movement. The maximum was at C_4 in case of voluntary left upper arm flexion movement.

2) The distribution over the scalp of P_2 potential showed maximum at C_z in case of voluntary right upper arm flexion movement. The maximum was also at C_z in case of voluntary left upper arm flexion movement.

3) P_3 potential and positive potential of passive flexion movement appeared both semi-spheres over central area. However, the difference of the amplitude of the these potentials was not significant.

4) The appearance latency of P_3 potential and of positive potential appearing after passive flexion movement showed quite similar value. When the amplitude of these potentials was compared, P_3 potential showed higher tendency than the positive potential after passive flexion movement.

From the results described above, the authors may conclude that (1) N_2 potential reflects expression of nerve excitation, namely, activity of corticospinal tract concerning efferent discharges of pyramidal tract, (2) P_2 potential dose not reflect peripheral feedback, but suggests the possibility of reflecting central feedback, and (3) P_3 potential reflects peripheral feedback from muscle, joint, and others. These findings are in support of the previous results reported by other investigators.

(Yoshiaki Nishihira, Hideo Araki, and Tatsumori Fujita, "Movement-associated cortical potential accompanying voluntary movement —with special reference to motor potential and positive potentials after movement—", *Jap. J. Phys. Educ.*, 26—1: 43—56, June, 1981)

実験目的

随意動作に伴って、頭皮上に4つの電位変化が出現することは、多くの研究者の一致する^{3), 4), 11), 22), 24)}報告である。著者らは今まで4つの電位変化の中で、随意動作に先行して約800~1500 msecに出現する N_1 電位(準備電位)に考察を限定して、その電位と反応時間との関係、および N_1 電位とC.N.V.(随伴性陰性変動)の相違について実験的に検討し、報告^{24), 25)}してきた。

その理由としては、脳運動関連電位に関する今日までの研究の焦点が、 N_1 電位と随意動作の準備状態形成との関連性を実証するという方向に向けられていて、著者らもその動向を踏襲したということ。さらにまたもう一つの理由は、感覚刺激のみに注意を集中させ、何ら動作課題を与えなくても頭皮上に出現するC.N.V.と呼ばれている現象と N_1 電位がきわめて類似しているゆえに、その両電位の相違を検討しておかなければ、 N_1 電位と随意動作の準備状態形成との関連性の仮説が成立せず、ひいては、脳運動関連電位を構成する

各電位成分と運動制御との関連性を検討すること自体不可能になるからである。

ところが近年(1975), J. Arezzo and H. G. Vaughan は随意動作に伴って頭皮上から5つの電位変化を導出し、脳運動関連電位を構成する4つの電位成分にもう一つの電位成分を付加し、それを P_3 電位(運動後第2陽性電位)と命名した。

今までも、随意動作に先行して約139±48msecに出現する N_2 電位(運動電位)、随意動作後約160±24msecに出現する P_2 電位(運動後第1陽性電位)、随意動作後約263±36msecに出現する P_3 電位(運動後第2陽性電位)に関する報告は若干あり、いくつかの知見が提示されている。しかしながら、現在、それらの知見^{1), 2)}を根拠づけるのに十分なデーターが存在せず、あらゆる角度からのデーターの提示が望まれている現状である。

そこで著者らは、今までの研究報告^{1), 2), 3)}を十分に考慮しつつ、本論文においては、随意動作に伴う脳電位、受動動作に伴う脳電位、体性感覚刺激大脳誘発電位(Somatic Stimulus Corter Potential, 以下S.S.C.P.と略す)の同時測定とい

う。ヒトにおいては今まで報告の少ない実験方法を用いて随意動作に先行して出現する N_2 電位(運動電位), 随意動作後に出現する P_2 電位(運動後第1陽性電位), P_3 電位(運動後第2陽性電位)と動作制御^{1), 2), 3)}との関連性に関する今日までのいくつかの知見を詳細に検討し, 根拠づける一助にするとともに, 究極的には運動制御機構の一端解明の一助にすることを目的とした。

さらに加えて, 運動後陽性電位である P_2 , P_3 電位と動作との関連性を検討するために, 体性感覚刺激大脳誘発電位(S.S.C.P.)の中で, 正中神経刺激後約14msecに出現する P_1 電位, 約20msecに出現する N_2 電位の頭皮上分布と, 既述の P_2 電位(運動後第1陽性電位), P_3 電位(運動後第2陽性電位)のそれを比較検討した。

実験方法

a 実験条件

被検者は筑波大学の健康な男子学生5名であった。(年齢19—21歳)。被検者をシールド内のベッド上に安静仰臥位状態にし, 開眼させ, 眼前約

1.5mに装着した赤ランプを凝視させ, 次のような動作条件を与えた。

(1) 自発的な左, 右上腕屈曲動作(被検者は肘関節角度を約90度に屈曲維持させた状態から, 自発的に任意の間隔で上腕を屈曲する)。

(2) 受動的な左, 右上腕屈曲動作(被検者に, 肘関節角度を約90度に屈曲維持させた状態から, 検者または第三者が他動的に任意の間隔で上腕を屈曲させる)

(3) 被検者を仰臥位安静状態にし, 左右各々の正中神経に任意の間隔で電気刺激を与えて, 頭皮上から体性感覚刺激大脳誘発電位(S.S.C.P.)を導出し, その電位の頭皮上分布を確認した。その時の刺激電圧は, 刺激の artifacts のため, 脳波の分析が不可能になるおそれを考慮して母指収縮閾値とした。被検者には既述の動作条件の下で動作遂行するように指示した。動作遂行前後にはなるべく眼球運動をしないように注意した。動作肢以外にはなるべく動かさないようにし, リラックスするよう指示した。

b 測定方法と導出部位

Movement conditions

Voluntary right upper arm flexion
Voluntary left upper arm flexion
Passive right upper arm flexion
Passive left upper arm flexion
Right median nerve stimulus
Left median nerve stimulus

Fig. 1 The experimental arrangement of the present study and data analysis processing.

脳波は頭皮上から表面導出法とし、電極は脳波用スピン電極を用いた。電極の配置は国際式10—20電極配置法に従った。脳波の導出は両耳朶を共通にし、それを基準電極に用いた単極導出法とした。導出部位はC₃, C_z, C₄, P₃, P₄, P_z, F_zであった。脳波の測定とデーターの解析は Fig. 1 のような配列で行なった。

脳波は、脳波計（日本光電製）で増幅、記録した。脳運動関連電位を測定する時定数は0.6秒、較正電圧は50 μ v/cmであった。S.S.C.P.を測定する時の時定数は0.3秒、筋電位を測定する時の時定数は0.03秒であった。筋電位の導出電極は直径8mmの皿型電極（銀—塩化銀不分解電極）を用いた。脳波、筋電位はいったん cassette data recorder（4 channel magnetic tape）に収録した。

データー解析過程において、加算機を掃引するためのトリガーパルスは、脳運動関連電位を測定する時には、筋放電と同時に（あるいは動作と同時に）パルスが出現するように設定し、またS.S.C.P.測定時には、正中神経刺激と同

時にパルスが出現するように設定して、そのパルスを用いた。そのトリガーパルスも脳波、筋電位と一緒に、cassette data recorder に収録した。実験終了後、収録したデーターは、トリガーパルスを基準に逆方向、順方向に再生させて、ATAC 250（日本光電製）上で平均加算し、X-Y recorder に記述した。加算回数は70~100回であった。ATAC 上での脳運動関連電位の解析時間は2秒、S.S.C.P.は50msecであった。ただし、artifacts のある箇所はすべてデーターから除外した。なお、脳運動関連電位の典型的な例と測定基準はFig. 2 に示してある。しかしながら、既述した脳運動関連電位の中のP₃電位（運動後第2陽性電位）は常に明白に確認できるものではなく、Fig. 3 に示したように、確認不可能な場合もある。S.S.C.P.の典型的な例と測定基準はFig. 4 に示してある。さらにFig. 5 は、随意動作に伴う脳運動関連電位と受動動作に伴って頭皮上に出現する脳電位の相違と、後者の脳電位の測定基準を示してある。

Fig. 2 Typical example of movement-associated cortical potential and the measurement criterion.

Fig. 3 Definite example of P₂ potential and P₃ potential appearing after voluntary movement (upper figure).
Indefinite example of P₃ potential appearing after voluntary movement (lower figure).

実験結果

A N₁電位（準備電位）とN₂電位（運動電位）の頭皮上分布の相違について

Fig. 6, 7 は, 自発的な右上腕屈曲動作, 左上腕屈曲動作遂行の場合のN₁電位, N₂電位（運動電位）の頭皮上分布を示したものである。

Fig. 6, 7 からわかるごとく, N₁電位の頭皮上分布は, 自発的な右上腕屈曲動作の場合は, 導出部位Czが常に最大の振幅を示し, 次いでC₃, C₄の順であった。

自発的な左上腕屈曲動作の場合においても, 導

出部位Czは常に最大の振幅を示したが, C₃とC₄を比較すれば, C₄, C₃の順であった。これらを有意差検定してみると次の通りであった。

自発的な右上腕屈曲動作の場合

（各導出部位間の平均振幅の比較）

Cz—C ₃	P<0.05	C ₃ —C ₄	not sig.
Cz—C ₄	P<0.05	C ₃ —P ₃	not sig.
Cz—P ₃	P<0.05	C ₃ —P ₄	not sig.
Cz—P ₄	P<0.05	C ₄ —P ₃	not sig.
		C ₄ —P ₄	not sig.

自発的な左上腕屈曲動作の場合

（各導出部位間の平均振幅の比較）

Fig. 4 Typical example of somatosensory, stimulation, cerebral evoked, potential (S.S.C.P) and the measurement criterion.

Fig. 5 Movement-associated cortical potential accompanying voluntay movement (upper figure). Positive potential appearing after passive movement (lower figure).

C_z-C_3	$P<0.05$	C_3-P_3	not sig.
C_z-C_4	$P<0.05$	C_3-P_4	not sig.
C_z-P_3	$P<0.05$	C_3-C_4	not sig.
C_z-P_4	$P<0.05$	C_4-P_3	not sig.
		C_4-P_4	not sig.

N_2 電位 (運動電位) の頭皮上分布を検討してみに, 自発的な右上腕屈曲動作の場合は, 常に導出部位 C_3 が最大の振幅を示し, 次いで C_z , C_4 , P_3 , P_4 の順であり, 自発的な左上腕屈曲動作の場合は, 導出部位 C_4 が常に最大の振幅を示し, 次いで C_z , C_3 , P_3 , P_4 の順であった。これらを有意差検定してみると次の通りであった。

自発的な右上腕屈曲動作の場合

(各導出部位間の平均振幅の比較)

C_3-C_z	not sig.	C_z-C_4	not sig.
C_3-C_4	$P<0.05$	C_z-P_3	$P<0.05$

C_3-P_3	$P<0.05$	C_z-P_4	$P<0.05$
C_3-P_4	$P<0.05$	C_4-P_3	$P<0.05$
		C_4-P_4	$P<0.05$

自発的な左上腕屈曲動作の場合

(各導出部位間の平均振幅の比較)

C_4-C_z	not sig.	C_4-P_3	not sig.
C_4-C_3	$P<0.005$	C_4-P_4	not sig.
C_z-C_3	$P<0.05$	C_3-P_3	not sig.
C_z-P_3	not sig.	C_3-P_4	not sig.
C_z-P_4	not sig.		

$B P_2$ 電位 (運動後第1陽性電位) の頭皮上分布について

Fig. 8 は, P_2 電位 (運動後第1陽性電位) の頭皮上分布を示したものである。Fig. 8 からわかるごとく, 自発的な右上腕屈曲動作の場合導出部位 C_z で最大の振幅を示し, 次いで C_3 , C_4 の順

Fig. 6 The distribution over the scalp of N_1 potential and N_2 potential in case of voluntary right upper arm flexion movement.

abscissa: lead placement

ordinate: amplitude

N (averaging numbers)

であり、自発的な左上腕屈曲動作の場合も、導出部位 Cz で最大の振幅を示し、次いで C₄, C₃ の順であった。これらの結果は、N₁ 電位の頭皮上分布とほとんど類似している傾向を示しており、統計的に処理してみても有意差は、N₁ 電位の場合とほとんど同じ傾向を示した。

C P₃ 電位 (運動後第2陽性電位) と受動動作後に出現する陽性電位の頭皮上分布について

Fig. 9 は、P₃ 電位 (運動後第2陽性電位) と受動動作後に出現する陽性電位の頭皮上分布を示してある。Fig. 9 からわかるごとく、P₃ 電位 (運動後第2陽性電位) と受動動作後に出現する陽性電位の振幅を比べてみると、P₃ 電位 (運動後第2陽性電位) の振幅が著明に高い傾向にあった。さらに、P₃ 電位 (運動後第2陽性電位) と受動動作後に出現する陽性電位の頭皮上分布を検討してみるに、両電位は、両半球上に両側的に出現

し、電位の振幅は導出部位 P₃, P₄ を除くと、著明な差はみられなかった。

D 脳運動関連電位 (P₁, N₂, P₂, P₃ 電位) と、受動動作後に出現する陽性電位 (P 電位) の出現潜時について

Fig. 10は、脳運動関連電位の中の P₁ 電位 (運動前陽性電位), N₂ 電位 (運動電位), P₂ 電位 (運動後第1陽性電位), P₃ 電位 (運動後第2陽性電位) と、受動動作後陽性電位 (P 電位) の出現潜時を示したものである。Fig. 10 からわかるごとく、P₁ 電位 (運動前陽性電位) は随意動作に先行して約 178 ± 56 msec に出現し、N₂ 電位は随意動作前約 139 ± 48 msec に出現した。P₂ 電位 (運動後第1陽性電位) は随意動作後約 160 ± 24 msec に出現し、P₃ 電位 (運動後第2陽性電位) は随意動作後約 263 ± 36 msec に出現した。受動動作後に出現する陽性電位 (P 電位) は、P₃ 電位 (運動後

Fig. 7 The distribution over the scalp of N₁ potential and N₂ potential in case of voluntary left upper arm flexion movement.

abscissa : lead placement
ordinate : amplitude
N (averaging numbers)

Fig. 8 The distribution over the scalp of P₂ potential accompanying voluntary movement.
abscissa: lead placement ordinate: amplitude N (averaging numbers)

第2陽性電位)よりもわずかに長い傾向にあった。

しかし、たとえ受動動作後に出現する陽性電位(P電位)が、随意動作後に出現するP₂電位(運動後第1陽性電位)、P₃電位(運動後第2陽性電位)よりも長い傾向にあったとしても、P電位の潜時は、P₂電位(運動後第1陽性電位)の潜時よりもP₃電位(運動後第2陽性電位)の潜時にきわめて近似的であった。

E 体性感覚刺激大脳誘発電位(S.S.C.P.)成分の変化について

Fig. 11は、S.S.C.P.の頭皮上分布を示したものである。Fig. 11からわかるごとく、右正中神経刺激の場合、P₁電位、N₂電位のいずれも、刺激側と反対側半球、特に前頭葉の中心領野の付近で優位を示した。しかしながら、左正中神経刺激の場合はその逆の傾向を示した。

考 察

実験目的のところで叙述したごとく、著者らはこれまで、N₁電位の頭皮上分布、N₁電位と動作遂行の準備状態との関連性について検討^{24), 25)}してきたのであるが、本論文においては、脳運動関連電位の中のN₂電位(運動電位)、P₂電位(運動後第1陽性電位)、P₃電位(運動後第2陽性電位)に考察を限定した。

A N₂電位(運動電位)について

Fig. 6, 7から明らかなように、N₂電位の頭皮上分布は、N₁電位のそれとは明白な相違を示し、自発的な右上腕屈曲動作の場合は、導出部位C₃、自発的な左上腕屈曲動作の場合は導出部位C₄の方が最大の振幅を示している。

さらに、N₂電位の潜時はFig. 10からわかるごとく、筋放電に先行して約139±48mmsecであった。

従って、たとえば L.K. Gerbrandt et al. (1973)

Fig. 9 The distribution over the scalp of P₃' potential accompanying voluntary movement and positive potential appearing after passive movement.
abscissa : lead placement ordinate : amplitude N (averaging numbers)

Fig. 10 Appearance latency of movement-associated cortical potentials (P₁, N₂, P₂, P₃ potentials) and positive potential appearing after passive movement.
abscissa : cortex potential components ordinate : appearance latency
N = 5 (showing 5 lead placements. C₃, C_z, C₄, P₃, P₄ in each subject)

Fig. 11 The distribution over the scalp of P₁ potential and N₂ potential of somatosensory, stimulation, cerebral evoked, potentials.(S.S.C.P.)

abscissa : lead placement

ordinate : amplitude

N(averaging numbers)

及び柴崎 (1974—1977)^{19),20),21),22),23)}らが, N₂電位は筋放電後に出現する可能性が強いと報告したとしても, 本実験においては明白に筋放電に先行して出現した。H.H. Kornhuber and L. Deeke (1965)¹¹⁾も以前から, N₂電位は筋放電に先行して約56msec に出現することを報告しているし, 青山ら (1978)¹⁵⁾も動作に先行して約50msec に頭皮上から, negative potential が出現することを報告している。

さらに, J. Arezzo et al. (1977)²⁾は,サルを用いての詳細な方法により, N₂電位は筋放電に先行して約50—100msec に出現することを確認しているばかりでなく, 皮質電位と同時に皮質内から multiple unit activity を測定し, multiple unit activity は筋放電に先行して約 80~90msec に相動的なバーストを示すと報告している。それ

ゆえ, 現在においてはN₂電位は L.K.Gerbrandt et al. (1973)⁹⁾および, 柴崎ら(1974—1977)^{19),20),21),22),23)}の報告とは相反して, 筋放電に先行して出現するという仮説を支持する報告が多くなっている。これらのことは, E.V. Evarts (1964⁶⁾, 1965⁷⁾, 1974⁸⁾)のサルを用いての一連の研究報告によっても十分支持することができる。

頭皮上分布に関しても, H.H. Kornhuber and L. Deeke (1965)¹¹⁾, 青山ら(1978)¹⁵⁾及び J. Arezzo et al. (1977)²⁾は, 本実験結果と同様に, 動作肢と反対側半球の運動野相当部位上で最大の振幅を示したと報告している。特に, J. Arezzo et al. (1977)²⁾は, N₂電位は筋放電に先行して約50—100msec 出に現し, 対側中心前回において最大の振幅を示し, さらに中心前領野内では極性が逆転を示すことから, 考察として, N₂電位は皮質脊

髄路 out-flow と関連がある皮質活動を反映している可能性が強いと報告している。

さらに, J. Arezzo et al. (1977)²⁾ が, N_1 電位, N_2 電位, P_1 電位 (運動前陽性電位) は, 電極が大脑皮質の4層, 5層を横切る時に極性が逆転を示すことを報告していることから, N_1 電位, N_2 電位, P_1 電位の generation は皮質の深層部にあることが推察される。

そこで, 本実験結果, H.H. Kornhuber の仮説, E.V. Evarts (1964⁵⁾, 1965⁶⁾, 1973⁷⁾, 1974⁸⁾ の一連の研究, W.T. Thach (1970¹²⁾, 1978¹³⁾ 及び J. Arezzo et al. (1977)²⁾ の基礎研究に論拠を置き, N_2 電位について考察してみると, 筋放電出現との時間的關係, 頭皮上分布からして, N_2 電位は錐体路の遠心性放電に関する神経興奮の表現, すなわち皮質髄路活動を反映している電位ではなかろうかと推察される。

L. Deeke et al. (1973)⁴⁾ も指摘しているごとく, 随意動作は頭頂, 他の連合野あるいは, 感覚運動野においてひきおこされた後, 小脳へは皮質一橋一小脳径路を経て伝えられる。小脳は, 小脳一視床一皮質径路を経て, 運動皮質へ情報を伝えられると考えられている。従って, 柴崎 (1974²⁰⁾, 1977²¹⁾ も随意動作に先行する脳運動関連電位発現には小脳皮質下核の領域が関与していると指摘しているごとく, N_2 電位の発現には上記の L. Deeke et al. (1973)⁴⁾ が主張した神経径路が関与している可能性が十分にあると考える。

それゆえ, N_2 電位は動作遂行そのものに直接関与する電位である可能性が推察される。

B 運動後陽性電位 (P_2 電位 (運動後第1陽性電位), P_3 電位 (運動後第2陽性電位) P 電位 (受動動作後陽性電位)) について

Fig. 8 から明らかなように, P_2 電位 (運動後第1陽性電位) は N_1 電位の頭皮上分布とほとんど類似していて, 自発的な左, 右上腕屈曲動作のいずれの動作においても導出部位 C_z が常に最大の振幅を示した。ところが, Fig. 9 からわかるごとく, P_3 電位 (運動後第2陽性電位), 受動屈曲動作後に出現する P 電位 (陽性電位) は, 導出部位 P_3 , P_4 を除くと両側的に両半球上に優位を示した。

これらのことから, P_2 電位 (運動後第1陽性電位), P_3 電位 (運動後第2陽性電位) の両電位は, 両方とも随意動作後に出現した電位であったとしても, 頭皮上分布は明白に異なっている。

さらに出現潜時を比較してみても, Fig. 10 からわかるごとく, P_2 電位 (運動後第1陽性電位) は随意動作後約 160 ± 24 msec に, P_3 電位 (運動後第2陽性電位) は約 263 ± 36 msec に出現し, 出現潜時においても明白な相違を示している。本実験結果によれば, P_3 電位 (運動後第2陽性電位) はむしろ頭皮上分布においては, 受動屈曲動作後の P 電位ときわめて類似しているように思われる。さらに, 出現潜時においても P 電位の方が長い傾向にあるが, しかし, 他の電位成分よりは P_3 電位 (運動後第2陽性電位) ときわめて近い値を示している。正中神経を経皮的に電気刺激して頭皮上から誘発された S.S.C.P. は, 黒岩と加藤 (1968)¹⁶⁾ 及び G.D. Goff et al. (1977)¹⁰⁾ の報告したとおり, 刺激側と反対側の半球上で優位を示したが, 全頭皮上から判断すれば運動野相当部位上で優位を示し, 被検者によっては両側的に両半球上に出現する場合もあった。

これらの結果から, S.S.C.P. の頭皮上分布は P_3 電位 (運動後第2陽性電位) のそれと極めて類似しているように思われる。従って, 以上のことから, たとえ P_2 電位 (運動後第1陽性電位), P_3 電位 (運動後第2陽性電位) が随意動作後に出現する陽性電位であったとしても, 出現潜時, 頭皮上分布などの相違からして, 両電位の出現機構は多少異なっている可能性が十分推測できる。

H.G. Vaughan and E.G. Gross (1970)¹⁴⁾ のサルを用いての実験によれば, 求心性線維を遮断しても, 随意動作が可能であり, 加えて随意動作後には陽性電位が出現することを報告している。さらに, 脱求心性線維を行なっても脳電位の出現潜時は若干遅延こそ示すけれども, 随意動作に伴って頭皮上から出現する4つの電位成分は完全に出現するというのである。

H.G. Vaughan and E.G. Gross (1970)¹⁴⁾ が報告している脳電位の中で, 随意動作後に出現する陽性電位は, 出現潜時, 頭皮上分布などからして, 著者らが本論文で取り扱っている P_2 電位 (運

動後第1陽性電位)とほとんど同じ電位であると考えてもまちがいがあるまい。従って, これらのことから, P_2 電位(運動後第1陽性電位)を求心性の末梢 feed-back の反映したものであると考えることはもはや不可能であろう。

J. Arezzo et al. (1977)²⁾も, サルを用いての詳細な研究から, P_2 電位(運動後第1陽性電位)は中枢中 feed-back の反映であると仮定している。その理由として, J. Arezzo et al. は次のようなことを論拠にあげている。(1) 脱求心性線維のサルにおいても P_2 電位に相当する陽性電位は出現する。(2) 末梢求心性線維は P_2 電位の発現に関与するであろう領域まで広がっておらず, 体性感覚刺激大脳誘発電位の配分は中心溝の前方に限局している。

これらのことから, P_2 電位が求心性の末梢 feed-back の反映したものであると考えることは不可能であろう。しかしながら, P_2 電位を J. Arezzo et al. が主張するように, 中枢内 feed-back の反映と考えたとしても, P_2 電位を発現させる中枢部位はどこか, もう少し詳細な実験的検討が必要であろうと思われる。

H.G. Vaughan and E.G. Gross (1970)¹⁴⁾の報告においては, 脱求心性線維のサルでは, P_2 電位に相当する陽性電位は観察されたが, P_3 電位(運動第2陽性電位)に相当する電位は観察されていない。また, J. Arezzo et al. は随意動作後約 265msec に陽性の電位変化を確認し, その電位は両側的に両半球上に優位に出現していることを報告^{1), 2)}している。さらに, 酒田(1972¹⁷⁾, 1976¹⁸⁾)もサルを用いて体性感覚入力を多く受け入れている領野5で P_3 電位に相当する電位を確認している。J. Arezzo et al. (1977)²⁾の報告によれば, 体性感覚入力は領野5内で unit 活動を誘発し, P_3 電位に相当する電位を出現させると報告している。従って, 本実験結果, 酒田(1972¹⁷⁾, 1976¹⁸⁾) J. Arezzo et al. (1977)²⁾及び H.G. Vaughan and E.G. Gross (1970)¹⁴⁾などの報告を論拠にして P_3 電位について考察してみると, P_3 電位こそ体肢位の情報をシグナル化している末梢 feed-back を反映した電位ではないかと推察される。

しかし, たとえ上述のことから, P_3 電位と受動

屈曲動作後に出現するP電位が末梢 feed-backを反映した電位であると考えられたとしても, 両電位の振幅を比較してみると, P_3 電位の方が著明に高い傾向にあった。

これらのことは, たとえ上述の両電位が末梢 feed-back によってひきおこされた電位であったとしても, 主に皮質脊髄路 out-flow が関与していると考えられる随意的な動作の場合と受動的な動作の場合とでは, 振幅, 出現潜時において明白な相違が存在するというを示している。

引用・参考文献

- 1) Arezzo, J. and Vaughan, H.G., "Cortical potential associated with voluntary movements in the monkey," *Brain Research*, 88 : 99—104, 1975.
- 2) Arezzo, J., Vaughan, H.G., and Koss, B., "Relationship of neuronal activity to gross movement-related potentials in monkey pre-and postcentral cortex," *Brain Research*, 132 : 362—69, 1977.
- 3) Deeke, L., Scheid P., and Kornhuber, H.H., "Distribution of readiness potential, pre-motion potential, and motor potential of the human cerebral cortex preceding voluntary finger movement", *Exp. Brain Res.*, 7 : 158—68, 1969.
- 4) Deeke, L., Becker, W., Grözing, B., Scheid, P., and Kornhuber, H.H., "Human brain potentials preceding voluntary limb movement", *Electroencephal. Clini. Neurophysiol. Suppl.*, 33 : 201—04, 1973.
- 5) Evarts, E.V., "Pyramidal tract activity associated with a conditioned hand movement in the monkey", *J. Neurophysiol.*, 29 : 1011—27, 1966.
- 6) Evarts, E.V. "Temporal pattern of discharge of pyramidal tract neurons during sleep and waking in the monkey", *J. Neurophysiol.*, 27 : 152—71, 1964.
- 7) Evarts, E.V., "Relation of discharge frequency to conduction velocity in pyramidal tract neurons", *J. Neurophysiol.*, 28 : 216—28, 1965.
- 8) Evarts, E.V., "Precentral and postcentral cortical activity associated with visually triggered movement," *J. Neurophysiol.*, 37 : 373—81, 1974.
- 9) Gerbrandt, L.K., Goff, W.R., and Smith, D.B., "Distribution of the human average movement

- potential", *Electroencephal. Clini. Neurophysiol.*, 34 : 461—74, 1973.
- 10) Goff, G.D., Matsumiya, Y., Allison, T., and Goff, W.R., "The topograph of human somatosensory and auditory evoked potentials," *Electroencephal. Clini. Neurophysiol.*, 42 : 57—76, 1977.
 - 11) Kornhuber, H.H., and Deeke, L., "Hirnpotential-änderungen des Menschen; Bereitschaftspotentiale und reafferente Potentiale", *Pflügers. Arch. Gesphysiol.*, 284 : 1—17, 1965.
 - 12) Thach, W.T., "Discharge of cerebellar neurons related to two maintained postures and two prompt movement: II Purkinje cell output and input." *J. Neurophysiol.*, 33 : 537—47, 1970.
 - 13) Thach, W.T., "Correlation of neural discharge with pattern and force of muscular activity, joint position, direction of intended next movement in motor cortex and cerebellum", *J. Neurophysiol.*, 41 : 654—76, 1978.
 - 14) Vaughan, H.G. and Gross, E.G., "Cortical motor potential in monkey before and after upper limb deafferentation." *Experimental Neurology*, 26 : 253—62, 1970
 - 15) 青山一夫・有坂みさ子・本間徹男・佐藤謙助「随意動作における反応時間, 光誘発反応および運動電位の関係について」*臨床脳波*, 19—9 : 588—96, 1977.
 - 16) 黒岩義五郎・加藤元博「大脳誘発電位とその臨床的応用」*神経進歩*, 12—2 : 137—47, 1968.
 - 17) 酒田英夫, 「頭頂連合野の機能」, 伊藤正男・島津造(編), *現代の神経科学*(3), 高次脳機能と中枢プログラミング, 産業図書, 1976. pp 145—69.
 - 18) 酒田英夫「サルの体性感覚系を研究する立場から」*脳波と筋電図*, 1 : 86—88, 1972.
 - 19) 柴崎浩「脳運動関連電位の基礎的および臨床的研究, IV, 脳運動関連電位の頭皮上局在」*脳波と筋電図*, 4—4 : 157—64, 1976.
 - 20) 柴崎浩「脳運動関連電位の基礎的および臨床的研究, V. 正常知見の総括と各種運動障害例における検討」*神経進歩*, 21—4 : 743—52, 1977.
 - 21) 柴崎浩・加藤元博「脳運動関連電位の基礎的および臨床的研究——1側手運動に伴う脳運動関連電位の各成分の検討——」*臨床神経*, 14 : 844—49, 1974.
 - 22) 柴崎浩「脳運動関連電位, 記録法ならびにその意義に関する知見の総括」*臨床脳波*, 17—5 : 275—85, 1975.
 - 23) 柴崎浩・山下順章・伊完栄「Myoclonusの脳波学的研究」*最新医学*, 33—2 : 236—47, 1977.
 - 24) 西平賀昭・藤田紀盛・荒木秀夫「随意動作に先行する脳運動関連電位」*体力科学*, 27—4 : 140—48, 1978.
 - 25) 西平賀昭・荒木秀夫・藤田紀盛「随意動作に先行する脳運動関連電位——単極導出法を用いての検討——」*体育の科学*, 29—10 : 733—38, 1979.