

# 運動反応に先行する頭皮上緩電位変動<sup>1</sup> —一定間隔刺激をペースメーカーとして—

筑波大学大学院 (博) 心理学研究科 篠田 伸夫

筑波大学心理学系 吉田 倫幸

The changes of scalp-recorded slow potentials preceding motor responses.

Nobuo Shinoda and Tomoyuki Yoshida (*Institute of Psychology, University of Tsukuba, Ibaraki 305*)

Slow potentials were recorded at C<sub>3</sub>, C<sub>z</sub> and C<sub>4</sub> for seven right-handed subjects. Responds were made with the right or left hand in the voluntary movement condition and the externally paced movement condition which consisted of fixed stimulus intervals. Slow potentials were greatest at C<sub>z</sub> and relatively high at the contralateral side to the responding hand. The effect of handedness was also observed. At C<sub>z</sub>, the difference of the wave pattern between the responding hands was observed in the voluntary movement condition. It was suggested that the baseline level changed when the subject responded with the non-dominant hand.

The pattern of the slow wave recorded under the externally paced movement condition resembled that of contingent negative variation (CNV). It nearly equaled motor readiness potential (MRP) in amplitude immediately before motor response. It is suggested that the wave is composed of an early component which represents the orienting response to a stimulus, and a late component which represents the timing set of a motor response. Though both components develop simultaneously, the former disappears during the fixed time course and the latter develops linearly between a stimulus and a motor response.

Key words: slow potential, CNV, MRP, externally paced movement.

人間が手足を動かすなど何らかの運動をする場合、脳波上では実際に運動が起こる0.5~1秒前から運動準備電位 (motor readiness potential; MRP) と呼ばれる、陰性に持続的にシフトする緩徐な電位変動が見られる (Gilden et al., 1966)。また、定間隔反応課題時にも、警告刺激と一定時間後に呈示される要求刺激との間には、MRPと同様、陰性にシフトする随伴性陰性電位変動 (contingent negative variation; CNV) が見られる (Tecce, 1972)。これらの頭皮上緩電位変動は、要求的課題の内容に対応して、その振幅が変化し (Hink, 1982)、運動を必要としない弁別課題中でも出現することから、一般的準備状態を反映しているとも考えられている (Järvilletho et al., 1970)。

定間隔に呈示される刺激に併せて運動反応をさせ

た場合も、頭皮上緩電位が生じる (篠田, 1983)。この電位は、中心部で最も高電位を示すが、右手で反応した場合には、右半球に比べ左半球の電位が高い。MRPやCNVでは、反応腕の対側半球で特に後期成分の電位が大きいという報告もある (Ragot, 1984; Papakostopoulos, 1980)。

一方、警告刺激と要求刺激の時間間隔を変化させることによって、CNVの波形が変化することが知られている。たとえば、警告刺激後の陰性への立ち上がり勾配は、両者の間隔が長くなるほど緩徐になる。これは、刺激間隔に対する時間知覚や「反応しやすさ」と関連すると考えられる (Ruchkin, 1977; 篠田, 1980)。

以上の点から、定間隔刺激をペースメーカーをした運動課題を用いて、反応腕による緩電位の頭皮上分布、および刺激間隔に対する波形変化を検討し、MRP, CNVとの関連性を明らかにする。

## 脚注

1. 本研究の一部は、昭和60年度、文部省科学研究総合 (A) (代表者: 金子隆芳) の補助を受けた。

## 方 法

**被験者** 右利きの大学生7名(男子4名,女子3名,年齢20~22歳.)。

**刺激** 1000Hzのピップ音(54dB SPL)を被験者の前方1.5mの床面からスピーカーにより呈示。刺激間隔(ISI)は2秒と3秒とし,電気刺激装置(日本光電,SEN-7113)と音刺激装置(日本光電,SSS-3100)により制御。

**脳波記録** 電極はAg-AgCl不分解電極を用いた。脳波は国際式10-20法に従い,C3・Cz・C4の三部位から両耳梁連結を不分解電極として単極導出し,汎用型脳波計(日本電気三栄,1A57)により時定数3秒で増幅した。同時に,垂直眼球運動と両手母指球の筋電もモニタ記録した。

**条件および課題** (1)自己ペース課題(SELF):被験者は自己ペースで手にしたマイクロスイッチを親指で素早く押す。(2)外部ペース課題:2秒(EXT 2)または3秒(EXT 3)おきに呈示される音刺激の途中で,マイクロスイッチを押す。上記3課題を右手(R)または左手(L)で行う(計6条件)。**手続き** 電極装着後,被験者は電磁シールド室内の安楽椅子に座り,「実験中は楽にして目を閉じ,体や目をあまり動かさないように」と教示された。1セッション1条件とし,計6セッション行い,順序は被験者毎にランダムとした。また,各セッション開始前に,課題に関して次のように教示を与えた。

(1)SELF課題:こちらが合図したら,2~4秒おきにスイッチを素早く押して下さい。(2)EXT課題:音が2秒または3秒おきに聞こえますので,音と音の途中でスイッチを押して下さい。各セッション内でのスイッチ押しは,100~150回とした。実験は安静閉眼状態で生理記録が安定した後,開始された。また,セッション間には5分間の休憩を入れた。総実験時間は約1時間。

**分析** 脳波,垂直眼球運動,筋電は,紙記録と同時にマイクロコンピュータ(TEAC,PS-85)を用いて,自作のプレトリガ機能付A/D変換プログラムにより8msごとにA/D変換した。脳波のサンプリング区間は運動反応(スイッチ押し)時点でタイムロックし,運動反応前192ポイント(1536ms),反応後64ポイント(512ms)の計2048msとした。1セッション中,前半50試行は練習試行とし,後半の50試行のみ加算平均した。加算平均された生理データはオフラインにてPS-85からマイクロコンピュータ(NEC,PC-9801F2)に転送し,被験者間の平均および統計処理を行った。

## 結果と考察

得られたデータについて反応時間を検討した結果,外部ペース課題における平均反応時間間隔は,EXT2,EXT3課題とも,刺激間隔のほぼ中間であることが確認された。また,MRP加算時のタイムロックには,筋電位の立ち上がり時点でロックする方法と,スイッチが押された時点でロックする方法があるが,本実験の結果では,筋電位の出現ピークからスイッチ押しまでの時間は平均48msでばらつきも少なく,どちらの方法を用いても加算平均による波形はほぼ等しいものと思われる。そこで,本実験ではスイッチ押し時点でロックする方法を用いた。

### (1) 課題による緩電位の変動

Czの電位差を見ると,SELF課題では左手で反応した方が全体的に電位が低く,反応前後のピーク間電位も小さかった。しかし,最大陰性電位に達するまでの電位勾配はほぼ一致していた。一方,EXT課題では,運動反応以前の波形と電位は類似した傾向を示したが,ピーク間電位は,左手で反応した方が大きかった(Fig.1)。

以上の結果は,被験者にとって,SELF課題とEXT課題が質的に異なっていることを示唆する。運動反応までの処理過程において,SELF課題では運動それ自体の影響が強いものに対して,EXT課題では運動だけでなく,運動以前の課題処理も影響するためと思われる。すなわち,SELF課題では,課題としての強制力がEXT課題より弱く,被験者の反応ストラテジーに対する自由度が大きいため,このような結果になったものと思われる。

### (2) 反応腕と緩電位の関係

(a)左右半球(C3とC4)の比較:MRPでは,反応腕の対側半球で電位が高いことが知られている。本実験の結果では,基線からの緩徐な電位変動は,左右どちらの手でスイッチ押しを行っても,全体的にC3の電位が高かった。しかし,運動反応直前100msの区間で左右半球の電位相対値( $C3/(C3+C4)$ )\*を比較すると,反応腕の対側半球での電位が若干高くなる傾向を示す(Fig.2A)。

Papakostopoulos(1980)は,利手とMRPとの関連性について,単純反応課題では,反応腕の対側半球で電位が高いが,一方,スキル課題を与えた場合,右利き被験者では左右で電位が等しく,左利き被験者では右半球の電位が高くなると指摘している。彼の実験と本実験では課題が異なるので,直接比較す

\*ラテラルリティの実験で使用される,左右差を相対的に示す指標。左右半球の反応量をそれぞれL・Rで表すと,L/(R+L)またはR/(R+L)で反応量を比較できる。

ることはできないが、今回被験者全員が右利きであることを考慮すると、左半球で全体的に電位が高い

のは利手の影響と考えることもできる。また、左右半球の電位相対値は課題間でも僅かではあるが、左

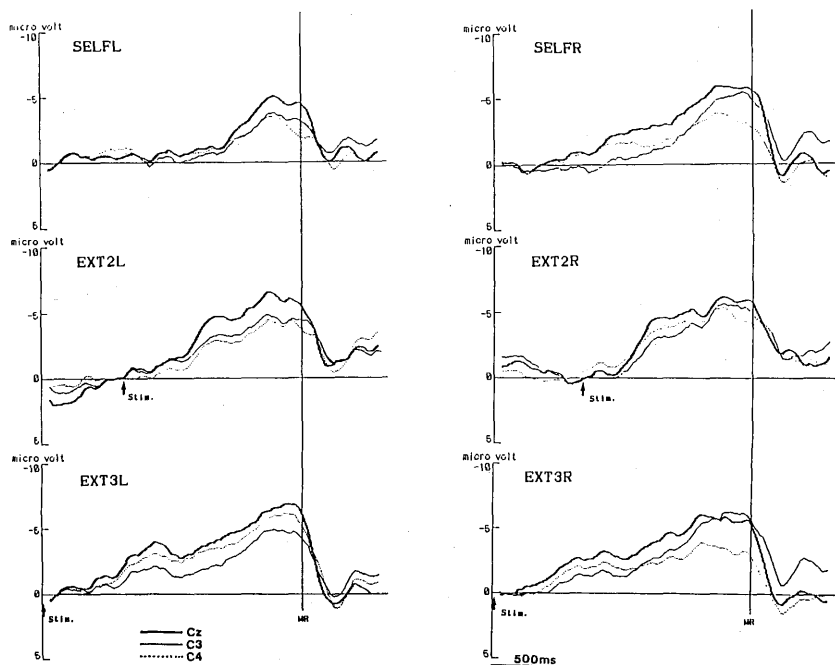


Fig. 1 Grand average under each condition (N = 7).  
MR: motor response, Stim. : stimulus.

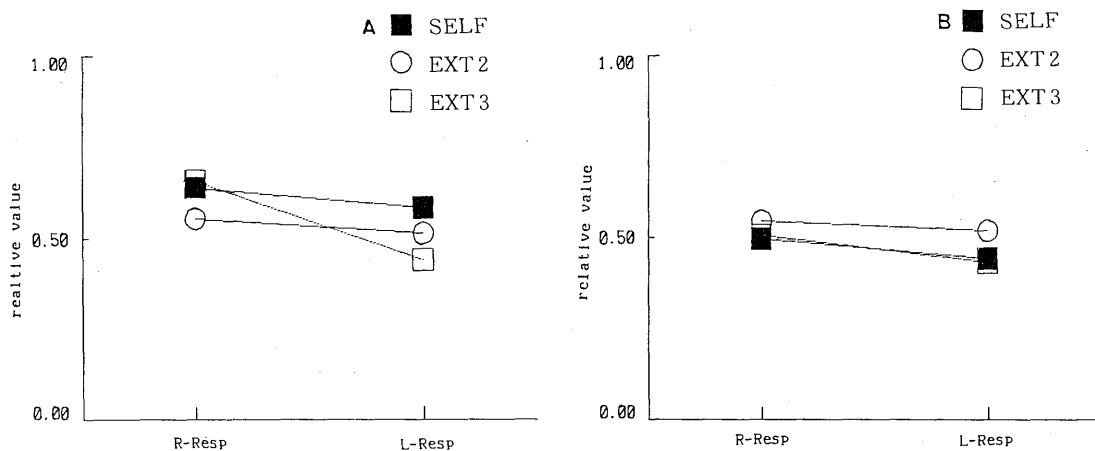


Fig. 2 Laterality index  $C3 / (C3 + C4)$ . A: averaged amplitude in 100ms epoch before motor response. B: peak-to-peak amplitude before and after motor response.

右差の程度に差が見られる。しかし、この区間中の最大陰性ピークと反応直後100msの区間の最大陽性ピークとのピーク間電位の相対値を比較すると課題差はほとんど見られない (Fig. 2B)。随意運動下では、運動反応直前で運動電位 (motor potential; MP) がMRPに畳重すること、また、MPは反応腕の対側半球で大きいことが指摘されている (Gilden et al., 1966)。彼等は、MPが実際の運動に対する運動野の司令および向上性フィードバックから成り立つと推測している。こうした点から、本実験で得られたピーク間電位はMPに代表されるような反応腕と対応した反応を反映し、一方、基線から徐々に発達する緩電位変動は利手と反応腕両者の影響を受けた反応と、課題に対する反応とが含まれた複合電位であると考えることができる。

さらに、Bruniaら (1985) は、人差指と脚の屈曲時のMRPについて、人差指では対側半球の電位が高いのに対して、脚では同側半球の電位が高くなると報告している。本実験では親指による運動反応課題を用いたが、得られた結果は彼等の人差指による結果と一致した。反応方法が左右半球の反応差異にどの程度影響するのは、今後の検討課題である。

(b) Czにおける反応腕の効果: SELF課題時のCzで、運動反応前から250ms区間ごとに電位勾配の変化を見ていくと、運動反応前500→250msの区間で電位が急上昇し、250→0ms (運動反応) 区間では勾配変化は小さくなり、反応腕による左右差も見られない。しかし、反応前1500ms→500msの区間では左右腕で電位変動パターンに違いが見られた (Fig. 1)。この原因の1つに、左右腕で基線が変動している可能性を考慮することができる。たとえば、GailJardら (1980) は、警告刺激以前の緩電位の状態によりCNV電位および基線への復帰が変化すると報告している。本実験の結果でも、運動反応前後のピーク間電位はSELFL条件の方がSELFR条件よりも小さいが、運動反応前500ms区間の電位勾配パターンはほぼ一致し、ピークを揃えて両電位を重ねてみると、SELFL条件では、全体的に基線が陰性に約2μVシフトしていることがわかる。この効果はEXT課題では見られないことから、SELF課題のように課題負荷の弱い条件下では基線レベルの変化として反応が現れるのではないと思われる。

### (3) 緩電位の時間経過パターン

緩電位の時間的変化を検討するために、運動反応時から遡って250msごとに、Czの電位を積分し、また、その区間の電位勾配を回帰直線によって推定した (Fig. 3)。(1)でも述べたように、両EXT課題とも、電位勾配の変化パターン反応腕の左右による

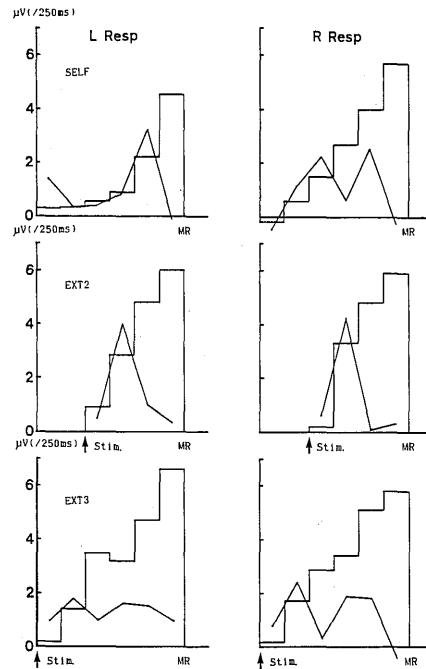


Fig. 3 Averaged amplitude and potential gradient in each 250 ms epoch.

bar: averaged amplitude, line: potential gradient per 250 ms.

差は見られないが、両課題間でCzの反応に変化が認められた。すなわち、EXT2課題では、運動反応直前500msの電位変化は小さく、750→500ms区間で電位が急上昇しているが、EXT3課題ではそうした変化は見られず、電位は全体として緩やかな上昇傾向を示す。しかし、積分した電位量を比較すると、EXT2課題に対する運動反応直前750→500ms区間の総電位量とEXT3課題における運動反応直前1000→250ms区間の電位量はほぼ一致している。この点については、警告刺激後のCNVの立ち上がり刺激間隔が長くなるほど緩やかになるとする報告 (Tecce, 1972; 篠田, 1980) があり、本実験の結果もこれらの報告と一致する。

### (4) 緩電位に対する刺激間隔の効果

刺激から一定の時間間隔をおいて運動反応をする場合、その処理過程は、時間軸において主に刺激それ自体の処理に関わる刺激呈示直後の区間 (A)、運動そのものに関与する運動反応直前の区間 (C) とそれらの間の区間 (B) から成り立つと考えられる。(A)と(C)は時間的に処理が固定された区間であるのに対し、(B)は運動反応を準備するためのタイミング処理に関わり、従って時間的に伸び縮

みする処理過程と仮定する。この前提に立って、まず、区間 (A) と (C) を確認するために、両 EXT 課題下における Cz の波形をそれぞれ平均刺激呈示時\*\*と運動反応時を基準に重ねてみたところ (Fig. 4), 刺激呈示直後と運動反応直前250ms の区間は電位、勾配とも刺激間隔に関わらず類似していた。このことは、区間 (A) と (C) の存在を裏付ける。

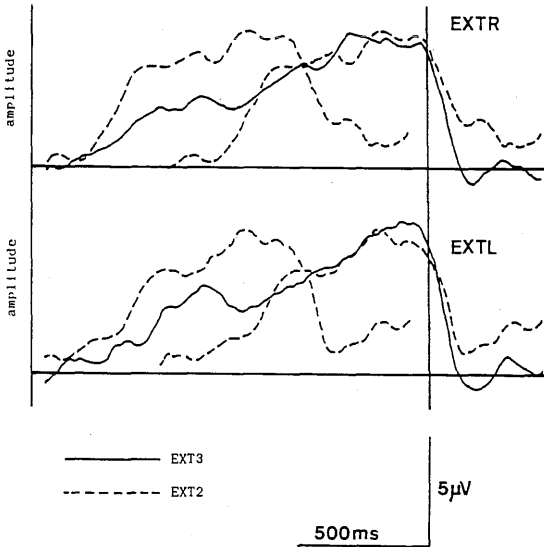


Fig. 4 Slow potentials under EXT condition. The wave pattern under EXT 2 condition, was displayed by adjusting the point of stimulus presentation or motor response to the point of that under EXT 3 condition.

一方、区間 (B) については、仮に、刺激間隔の違いによってその処理過程が一様に伸び縮みするとすれば、その区間を刺激間隔に対して相対的に同じ長さにした場合、波形の電位勾配は等しくなることが予想される。Fig. 5はこれを確認するために、EXT 2, EXT 3課題について平均刺激呈示時と運動反応時の間を1区間としてEXT 2の反応を時間軸に添って引き伸ばし、EXT 3にそろえ、重ね合わせた結果である。この図から、電位勾配は刺激後250ms以降もしばらくは一致するが、その後、両課題で勾配は一致しなくなることがわかる。また、反応直前250msを除外した部分波形だけを用いて重ね合わせた結果でも電位勾配に一致は認められなかった。このことは、区間 (B) の存在を示すとともに、その処理が刺激間隔に応じて等しく伸び縮みするような単純な過程ではないことも明らかである。

CNVは刺激に対する定位反応としての前期成分と課題事態に関連した後期成分に二分されると一般

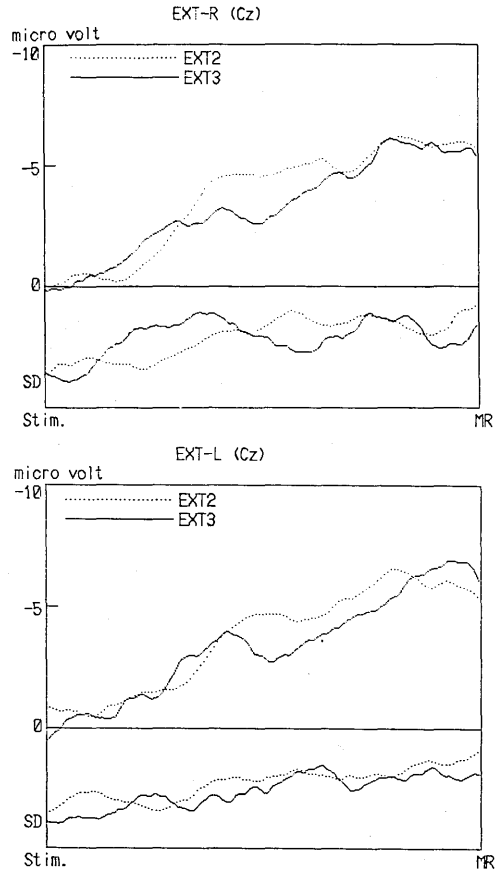


Fig. 5 Slow potentials under EXT condition. Slow wave under EXT 2 condition was proportionally extended to the length of slow wave under EXT 3 condition.

に考えられているが、その波形は警告刺激と要求刺激との間隔が長くなると、二相性を示す。本実験におけるEXT課題では刺激間隔のみを変化させているので、前期成分は一定であり、後期成分の発達経過のみがEXT 2とEXT 3課題における波形勾配の違いに関連すると考えれば、Fig. 6に示したモデルにより、引き伸ばされたEXT 2課題時の波形がその中央部でEXT 3課題時の波形より高電位を示すこと (Fig. 5) を説明できる。Fig. 6のモデルでは、前期成分 (A) と後期成分 (B) の開始時期が同時で、前期の反応が一過性で先に消失し、その後は後期成分のみが発達していくことが仮定されているが、その妥当性については今後さらに検討を加える必要も

\*\* 反応時点でロックして加算平均しているもので、刺激開始時点には多少ずれがある。そこで、平均刺激呈示時という表現を用いた。

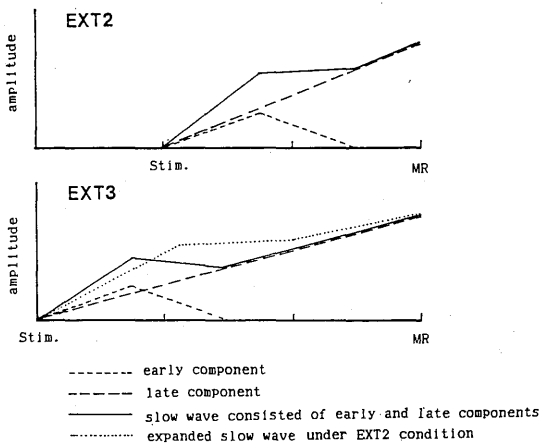


Fig. 6 The model of slow potential under the externally paced movement condition (see Fig. 5)

ある。

(5) 全体的考察 Grünwald ら (1979) は, CNV の後期成分と MRP とを比較した結果, MRP では半球差が見られるが, 両者の波形は刺激に反応する速さや主観的要因の効果の点で類似したパターンを示すと報告している。実験手続き上, MRP は運動反応を基準にタイムロックする方法で得られる波形であり, 一方, CNV は警告刺激と要求刺激の間で主として観察される波形である。本実験で採用した定間隔刺激をペースメーカーとした運動反応課題は, CNV 実験手続きと MRP 実験手続きの中間的な方法である。CNV の最大陰性電位は, 課題負荷をかけた場合, 10~15  $\mu$ V の変化であり, 一方, MRP の電位変化は 5  $\mu$ V 程度であるが, 本実験での緩電位は約 6  $\mu$ V の変化であり, この点では, MRP と類似している。また, 前期成分が出現している点では, CNV と一致する。従って, 得られた緩電位は刺激に対する前期成分と MRP が複合した電位ではないかと考えられる。

### 要 約

右利きの被験者 7 名を対象として, 随意運動時, 定間隔で呈示される刺激をペースメーカーとした外部ペース運動反応時の頭皮上緩電位変動が C3, Cz, C4 の三部位から記録された。運動反応は右または左手で行った。その結果, 緩電位は Cz で最大を示し, 反応腕に応じてその対側半球で相対的に優位な電位差を示したが, 利手による影響も見られた。また, Cz での反応腕に基づく電位差は, 随意運動時にも観察された。

外部ペース運動課題では, CNV と運動準備電位

の両者が複合された緩電位波形が得られたが, 分析の結果, この波形は刺激に対する一過性の前期成分と刺激間隔により反応勾配が変化する後期成分の合成波形であることが示唆された。

### 参 考 文 献

- Brunia, C. H. M., Voorn, F. J. & Berger, M. P. F. 1985 Movement related slow potentials. II. A contrast between finger and foot movements in left-handed subjects. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, **60**, 135-145.
- Gaillard, A. W. K. & Näätänen, R. 1980 Some baseline effects on the CNV. *Biological Psychology*, **10**, 31-39.
- Gilden, L. & Vaughan Jr., H. G. 1966 Summated human EEG potentials with voluntary movement. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, **20**, 433-438.
- Grünwald, E., Grünwald-Zuberbier, J., Nets, J. & Hömberg, V. 1979 Relationships between the late component of the contingent negative variation and Bereitschaftspotential. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, **46**, 538-545.
- Hink, R. F., Kohler, H., Deecke, L. & Kornhuber, H. H. 1982 Risk-taking and the human Bereitschaftspotential. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, **53**, 361-373.
- Järvilehto, T. & Fruhstorfer, H. 1970 Differentiation between slow cortical potentials associated with motor and mental acts in man. *Experimental Brain Research*, **11**, 309-317.
- Papakostopoulos, D. 1980 The Bereitschaftspotential in left- and right-handed subjects. *Progress in Brain Research* Vol. 54, pp. 742-747.
- Ragot, R. 1984 Perceptual and motor space representation: An event-related potential study. *Psychophysiology*, **21**, 159-170.
- 篠田伸夫 1980 ヴィジランス課題における頭皮上緩電位の時間的特性 筑波大学人間学類卒業論文
- 篠田伸夫 1983 頭皮上緩電位に及ぼすタイミング手がかりの効果 筑波大学心理学研究科修士論文
- Tecce, J. J. 1972 Contingent negative variation (CNV) and psychological process in man. *Psychological Bulletin*, **77**, 73-108.