

運動準備電位とゴールの難易度を伴う蹴動作の関係

鬼頭伸和* 道山和重¹ 伊藤智式** 伊藤道郎***

*保健体育講座

**愛知教育大学非常勤講師

***天理大学体育学部

The influence of task difficulty on the readiness potential preceding basic skilled-kick movement

Nobukazu KITO*, Kazushige DOYAMA¹, Tomonori ITO** and Michiro ITO***

*Department of Health and Physical Education, Aichi University of Education, Kariya, Aichi 448-8542 Japan

**Aichi University of Education, part-teacher

***Tenri University, Faculty of Health and Sports Studies, Tainoshocho 80, Tenri, Nara 632-0071, Japan

The present study aimed to investigate the effects of task difficulty on the readiness potential (RP) and the variation of the RPmap on the scalp by use of the Topography methods.

Six male healthy subjects (age 20.5 ± 1.2 years) kicked a soccer ball to the goals that was 550mm wide (W task) and 330mm wide (N task). The RP was recorded from 12 position to the International 10-20 system referred linked earlobes and the RP map on the scalps.

The RP onset time (C3, Fz, Pz,) in the N task was significantly faster than those in the W task. The total amplitudes of the RP(C3) were significantly different in the N task and the W task ($p < 0.05$). The RP amplitudes of topography map on the scalp in both tasks changed in the frontal gyriprecentral gyrus from the RP onset time to EMG onset time. This amplitude in the N task were greater than in the W task. These results suggest that the RP and the Topography maps of the RP effects of task difficulty.

I. はじめに

脳波はヒトの頭皮上から非侵襲的に記録できる生理指標の一つであるが、大別すると背景脳波と緩電位変動に分類される。前者はさらに、周波数によって、 δ 波 (0.5~4 Hz), θ 波 (4~8 Hz), α 波 (8~13Hz), β 波 (13~20Hz), に分類されており、一般に呼ばれている「脳波」がこれに相当する。一方、0.5Hz以下の周波数帯域は緩電位変動と呼ばれ、背景脳波と区別される。この緩電位変動は、外部からの呈示信号に対する認知処理や運動反応に同期して一過性の変動を示すが、背景脳波に埋もれた状態で記録されるため、記録紙上から観察することは困難である。そのため、緩電位変動を観察するためには、加算平均処理を行わなければならない。加算平均とは、刺激呈示や運動発現といった事象の起始点に脳波を揃えて平均化することで

あり、これによって背景脳波が相殺され、当該事象に関連した緩電位変動だけが抽出される。

このように緩電位変動は、背景脳波に比較すると現象を観察すること自体が厄介であるものの、研究対象によっては背景脳波よりも情報量の多い、切れの良い指標となり得る¹⁾。

Kornhuber and Deecke²⁾は随意動作前後に頭皮上からいくつかの脳電位を測定する方法を発見した。その方法とは前もって磁気テープに記録してあった脳波を逆方向に再生することによって、随意動作前の脳現象を測定することである。この記録方法は人間の随意動作の研究を飛躍的に発展させ、今日まで停滞していた人間の随意動作の中枢機構解明に大きく貢献した。随意動作に先行する脳電位は4つの成分から構成されており、現在、次のように考えられている³⁾。

(1) 随意動作に先行して800-1500msec. に始まる緩徐な陰性電位は運動準備電位(準備電位) (Bereitschaftspotential: BP. Readiness potential: RP) と呼ば

1 愛知教育大学大学院学生 (Graduate Student, Aichi University of Education)

れ、随意動作開始の中枢内準備過程を反映している電位である。随意動作前400-500msec. に動作肢と反対側の中心および頭頂野に優位に出現し、急峻な陰性方向を示す電位は、NS' (Negative slope) あるいは CPN (Contralateral preponderance of negativity) と呼ばれ、運動皮質上に明確な局在性を示す。

- (2) NS' に続いて陽性方向を示す電位は運動前陽性電位 (Premovement positivity : PMP) と呼ばれ、動作前約150msec. に出現し、時々、観察するのは困難であり、異なったトポグラフィや局性をもった多くの電位が重合した複雑な電位経過を示す電位である。
- (3) 一側肢の随意動作前約50-60msec. に始まる陰性電位は、運動電位 (Motor potential : MP) と呼ばれ、動作肢と反対側の運動皮質の活動を反映していると考えられている。

いままでの研究成果によれば、運動準備電位(BP)については、出現潜時、波形の同定において若干の相違はみられたが、基本的な知見ではかなり一致している。発現機構においても、発現に関与している皮質および皮質下部はどこかという点でも、動物実験、正常な人間被験者および臨床報告例などをもとにかなりの信頼性をもって推測されている。しかし、今日までの「運動関連脳電位と運動制御」に関する研究のほとんどが単純な動作との関係に焦点が当てられており、随意動作の中枢機構解明を不十分なものにしてている。また、ほとんどの研究は上肢の動作によるものであり、下肢の動作についての研究が少ないのが現状である。さらに最近の脳電位に関する多くの研究⁴⁾は、緩徐な脳電位の変化は運動および認知学習と関連があることを認めている。

そこで本研究では、下肢動作としてゴール課題がある蹴動作の運動調節について、脳波の加算平均から得られる緩電位変動の運動準備電位を測定し、蹴動作開始前に出現する運動準備電位の開始時間、総電位量と課題の難易度との関係および Topography 法により頭皮上の電位分布の経時の変化を検討することを目的とした。

II. 研究方法

被験者は、健康的な男子学生6名(右利き5名, 左利き1名)とした。被験者に対して、本研究に参加するにあたって実験の目的および方法を説明し、十分な理解と同意を得た後、測定を実施した。

被験者は安静椅座位の姿勢で、頭部に脳波用エレクトロキャップを装着して蹴動作を行った。市販の人工芝(縦350cm, 横91cm)を利用し、傾斜角度のない水平なコースを実験室内に設置した(図1)。また、被験者は椅子に座り、できる限り安静な状態でボールを蹴れ

るように工夫をした。ゴールは人工芝の終端に設置し、ボール中心位置からゴール前面部までの距離を300cmとした。サッカーボールは5号球(直径約22cm)を用いた。課題の難易度は、ゴールの広さを変化させることによって、低難度条件(ゴールの広さ55cm, 以下W条件とする)と高難度条件(ゴールの広さ33cm, 以下N条件とする)の2条件を設定した。両条件とも、50試行からなるセッションを左右両足において遂行した。

被験者には所定の電極を取り付ける前に、課題に関する教示を与え、蹴動作の前は、ボールを注視して瞬目を抑制するように教示した。そのため、ボールがゴールに入ったかどうかは験者が口頭でフィードバックし、被験者は結果の認知と動作の修正が行えるようにした。これらの諸注意を被験者に理解させるために、実験開始前に数試行程度の練習を行い、被験者各自がボールを蹴りやすい位置に座るように教示した。またセッション終了ごとに5分程度の休憩を設けた。

脳波は、図2に示すように、頭皮上からの表面導出法として、国際式10-20電極配置法に基づき、21個の電極を封入したエレクトロキャップを頭部に装着し、両

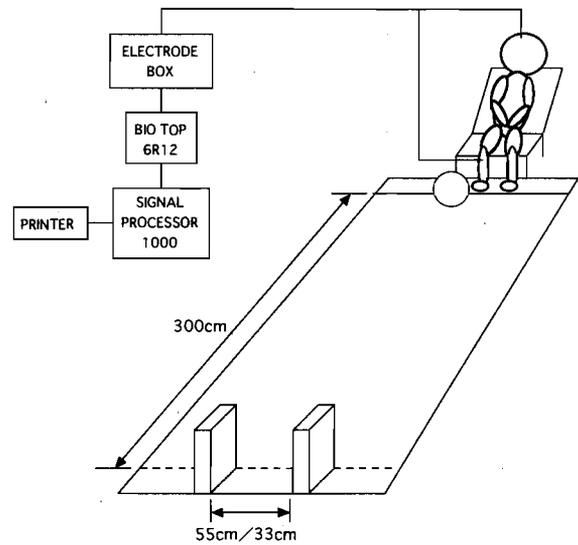


図1 実験概要模式図

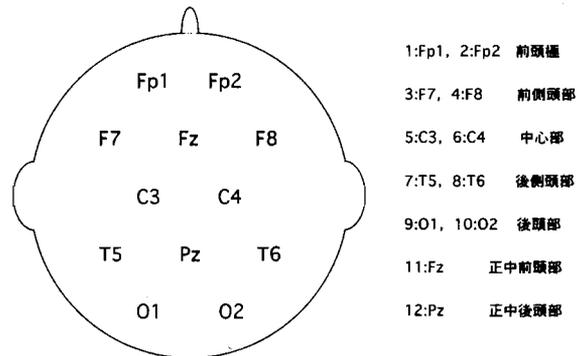


図2 脳波導出12部位と部位名

耳重結合を基準にして、頭皮上の12部位(Fp1, Fp2, F7, F8, C3, C4, T5, T6, O1, O2, Fz, Pz)から時定数3 secで単極導出した。A-D変換して SIGNAL PROCESSOR 1000 (日本電気三栄社製)により分析をした。また、左右前脛骨筋に表面電極を約3 cm間隔で付け、筋電図を導出した。電極はすべて、銀塩化銀電極を使用した。また、動作肢の表面から筋電位も生体増幅器を通して同時に測定した。筋電位の導出電極は1 cmの皿電極(銀塩化銀電極)を用いた。

運動準備電位は、蹴動作開始時の筋電図の放電をトリガーとして、加算平均により求めた。脳波の加算回数は50回とした。なお、1試行で記録した脳波に artifact が混入した場合、加算回数から除外した。分析時間は、トリガー前4 sec, トリガー後1 secの計5 secとした。

Topographyは、頭皮上12部位から導出した運動準備電位を用いてMRCP用ソフト(日本電気三栄社製)により求めた。このソフトは、脳波計により入力された12チャンネルの生体信号を解析し、その結果から得られた振幅値を用いて自動的にマッピングを行うものである。マップは5×5の格子点の値が既知であれば補間関数を用いて格子点間の値を推定することが可能である。格子点の位置に電極を装着するが、このソフトでは12チャンネルの生体信号を解析する。従って、25点の値がすべて測定できない。そこで電極を装着していない点は、その周りの電極が装着されている点の値をあらかじめ計算して求めておき、その後、補間関数を用いて計算を行う。

体動および筋活動電位によるものや、まばたきや眼球運動による artifact (脳波記録に混入する脳波以外の電気現象、すなわち眼球運動、舌運動、皮膚電気反応など)の混入がはなはだしく多いため、被験者にはボール蹴り動作前4 sec, 後1 secの脳波測定中においては、他動作や瞬目、眼球運動などを極力しないようにあらかじめ注意をし、artifactに関わる動作をした場合はその後3~4 sec おいてから運動を行うように指示した。

ゴール成功率は、低難度条件(W条件)、高難度条件(N条件)における左右両足の蹴動作時のパフォーマンス結果として、ゴール成功率を求め、各条件間で比較分析した。蹴動作時の運動準備電位の開始時間は、低難度条件(W条件)、高難度条件(N条件)で、左右両足蹴動作時の筋電図の放電開始時点から前に逆算して、陰性方向(N成分方向)へ緩徐に立ち上がる運動準備電位の開始時間を測定し、被験者全体として条件間で比較分析した。運動関連脳電位の総電位量は、低難度条件(W条件)、高難度条件(N条件)における左右両足の蹴動作前の運動準備電位の開始時間から筋電図放電開始までの間の電位を planimeter (牛方社製)

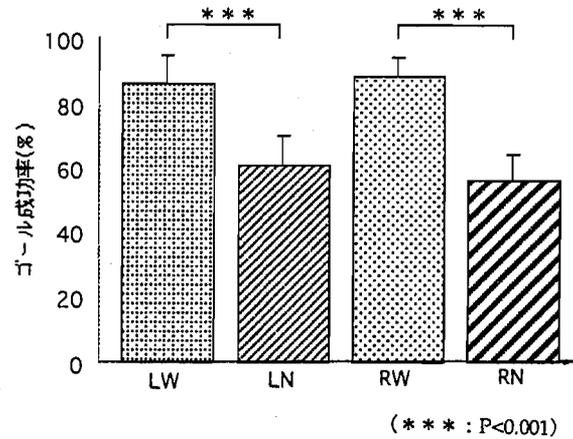


図3 課題の難易度に伴う左右蹴動作のゴール成功率

を用いて面積として測定した。単位は Arbitrary Unit である。測定した総電位量は、被験者全体として条件間で比較分析した。運動関連脳電位の頭皮上の電位分布は、低難度条件(W条件)、高難度条件(N条件)における蹴動作時の運動関連脳電位の頭皮上電位分布を Topography で示し、頭部のどこの領域に局在しているのかを経時的に解析し、各条件間で比較分析した。

統計処理は、被験者の各条件における蹴動作時の準備電位の開始時間、総電位量の平均値および標準偏差を求めた。各条件の平均値の有意差検定は、対応のあるt検定を用い、いずれの場合も有意差水準5%未満をもって有意とした。

III. 結果及び考察

1. 課題の難易度の違いとゴール成功率

各被験者のパフォーマンス結果として、条件別にゴール成功率を示した(図3)。左足動作時、右足動作時とも低難度条件(W条件)の方が高難度条件(N条件)よりもゴール成功率は高かった。平均値で見ると、左足動作時、右足動作時とも低難度条件(W条件)の方が高難度条件(N条件)に比べ有意に高い成功率を示した($P < 0.001$)。低難度条件と高難度条件の間には有意な差がでたものの、左右の条件間では有意差はでなかった。右利きの多い被験者であるにも関わらず、高難度条件では左足条件時に高い成功率がでたのは、実験条件の順序にも影響していると考えられる。左足の低難度条件から始め、左足高難度条件、右足低難度条件、右足高難度条件と左足条件は前半に行わせたため、実験に集中することができパフォーマンスとしてのゴール成功率にもつながったものと考えられる。右足条件は、後半に行わせたために、長時間座位の姿勢を保っているストレスや実験になれてきたために生じたパフォーマンスの低下など、身体的・精神的に実験に集中できなかった可能性が考えられる。

表1 蹴動作時(左右)の運動準備電位の開始時間

| | RW task | | RN task | | Ttest |
|-----|-------------|----|-------------|----|-------|
| | Mean | SD | Mean | SD | P< |
| Fp1 | 1.32 ± 0.53 | | 1.74 ± 0.36 | | NS |
| Fp2 | 1.30 ± 0.55 | | 1.73 ± 0.37 | | NS |
| F7 | 1.44 ± 0.73 | | 1.70 ± 0.31 | | NS |
| F8 | 1.26 ± 0.49 | | 1.78 ± 0.44 | | 0.05 |
| C3 | 1.63 ± 0.37 | | 2.06 ± 0.34 | | 0.05 |
| C4 | 1.63 ± 0.49 | | 2.09 ± 0.31 | | NS |
| T5 | 1.10 ± 0.50 | | 1.41 ± 0.76 | | NS |
| T6 | 1.05 ± 0.66 | | 1.32 ± 0.75 | | NS |
| O1 | 1.05 ± 0.65 | | 1.43 ± 0.73 | | NS |
| O2 | 1.15 ± 0.67 | | 1.41 ± 0.80 | | NS |
| Fz | 1.33 ± 0.51 | | 1.86 ± 0.38 | | 0.01 |
| Pz | 1.47 ± 0.38 | | 2.01 ± 0.34 | | 0.05 |

(sec)

| | LW task | | LN task | | Ttest |
|-----|-------------|----|-------------|----|-------|
| | Mean | SD | Mean | SD | P< |
| Fp1 | 1.30 ± 0.48 | | 1.50 ± 0.36 | | NS |
| Fp2 | 1.29 ± 0.49 | | 1.52 ± 0.31 | | NS |
| F7 | 1.12 ± 0.43 | | 1.42 ± 0.47 | | 0.05 |
| F8 | 1.27 ± 0.51 | | 1.47 ± 0.45 | | NS |
| C3 | 1.24 ± 0.41 | | 1.46 ± 0.42 | | 0.05 |
| C4 | 1.52 ± 0.40 | | 1.63 ± 0.42 | | 0.01 |
| T5 | 1.21 ± 0.51 | | 1.19 ± 0.70 | | NS |
| T6 | 1.10 ± 0.46 | | 1.49 ± 0.53 | | NS |
| O1 | 1.03 ± 0.55 | | 1.15 ± 0.74 | | NS |
| O2 | 1.06 ± 0.42 | | 1.30 ± 0.48 | | 0.05 |
| Fz | 1.32 ± 0.44 | | 1.52 ± 0.37 | | 0.05 |
| Pz | 1.46 ± 0.35 | | 1.71 ± 0.55 | | 0.05 |

(sec)

表2 蹴動作時(左右)の運動準備電位の総電位量

| | RW task | | RN task | | Ttest |
|-----|---------------|----|---------------|----|-------|
| | Mean | SD | Mean | SD | P< |
| Fp1 | 31.50 ± 26.99 | | 38.67 ± 23.37 | | NS |
| Fp2 | 26.33 ± 27.24 | | 34.17 ± 17.17 | | NS |
| F7 | 14.83 ± 10.94 | | 16.67 ± 9.14 | | NS |
| F8 | 16.17 ± 12.70 | | 17.67 ± 7.17 | | NS |
| C3 | 15.50 ± 6.57 | | 24.17 ± 10.50 | | 0.05 |
| C4 | 15.83 ± 9.66 | | 21.83 ± 6.21 | | NS |
| T5 | 6.50 ± 3.51 | | 7.50 ± 4.72 | | NS |
| T6 | 5.67 ± 6.38 | | 6.33 ± 4.80 | | NS |
| O1 | 8.50 ± 5.99 | | 8.33 ± 5.61 | | NS |
| O2 | 6.33 ± 6.77 | | 8.50 ± 6.44 | | NS |
| Fz | 23.00 ± 11.73 | | 33.83 ± 17.19 | | 0.05 |
| Pz | 12.50 ± 6.72 | | 18.00 ± 9.96 | | NS |

(arbitrary unit)

| | LW task | | LN task | | Ttest |
|-----|---------------|----|---------------|----|-------|
| | Mean | SD | Mean | SD | P< |
| Fp1 | 21.83 ± 10.55 | | 24.50 ± 14.40 | | NS |
| Fp2 | 15.67 ± 8.04 | | 21.17 ± 8.64 | | NS |
| F7 | 8.67 ± 4.72 | | 7.50 ± 4.68 | | NS |
| F8 | 13.50 ± 9.77 | | 16.00 ± 9.86 | | NS |
| C3 | 14.00 ± 7.51 | | 16.33 ± 11.02 | | NS |
| C4 | 15.50 ± 7.15 | | 14.33 ± 6.47 | | NS |
| T5 | 9.67 ± 7.39 | | 8.67 ± 7.92 | | NS |
| T6 | 3.83 ± 3.06 | | 3.50 ± 2.51 | | NS |
| O1 | 5.83 ± 5.78 | | 8.00 ± 8.72 | | NS |
| O2 | 4.50 ± 3.02 | | 4.83 ± 3.82 | | NS |
| Fz | 21.67 ± 12.75 | | 19.83 ± 12.92 | | NS |
| Pz | 12.33 ± 6.44 | | 14.17 ± 4.45 | | NS |

(arbitrary unit)

2. 運動準備電位の開始時間と課題の難易度

運動準備電位は、表1に示すように、高難度条件(LN, RN)において、左右の蹴動作の開始前 1.71 ± 0.55 secと 1.45 ± 0.48 secで出現した。運動準備開始時間は、左足蹴動作時ではF7部位、C3部位、O2部位、Fz部位、Pz部位($P < 0.05$)、C4部位($P < 0.01$)において両条件の間に有意差がえられた。右足蹴動作時ではF8部位、C3部位、Pz部位($P < 0.05$)、Fz部位($P < 0.01$)において両条件の間に有意差を示した。

岩瀬⁹⁾は、準備電位と速度との関係を調べ報告している。彼の報告によれば、速い運動を行わせると、準備電位の立ち上がりは遅く、緩徐な速度で運動を行わせると、準備電位の立ち上がりは早期に立ち上がるということである。このことから、低難度条件と高難度条件での蹴動作時の運動速度は、準備電位の開始時間に影響を及ぼすものと考えられる。一方、高澤¹²⁾は、右手第2指の屈曲運動により標的強度を出力する課題を用いた研究において、標的強度出力に連続成功している試行と失敗直後の試行で準備電位を比較している。その結果によれば、失敗直後は動作プランを修正しなければならないため、準備電位は早期から立ち上がることが明らかにされたという報告である。また、正木⁵⁾は、打鍵による標的強度出力課題を用いた研究でも、課題難度が高くなると準備電位は早期に立ち上がりを示すことを報告している。

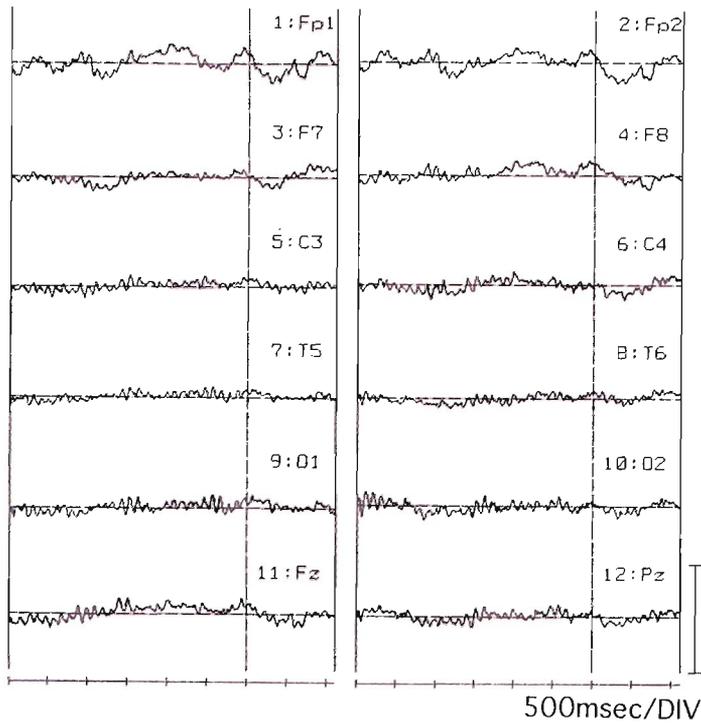
これらのことから、課題難易度が高くなると動作プランの修正や課題遂行時の心理要因による影響により本研究においても、高難度条件時の方が準備電位の立ち上がり開始時間がより早期に移行したものと考えられる。

3. 運動準備電位の総電位量と課題の難易度

運動準備電位の総放電量は、表2に示すように、N条件、W条件ともFp1、Fp2、C3、C4、Fz部位で高い値が得られた。また、両者を比較すると、N条件の方が、利き足蹴動作時のC3部位で有意に高い値であり、他の部位では有意差はなかったが、高い値が得られた。課題の難易度の違いにより、前頭部から中心頭頂領の前後左右の広い部位で総電位量が増大する傾向であった。

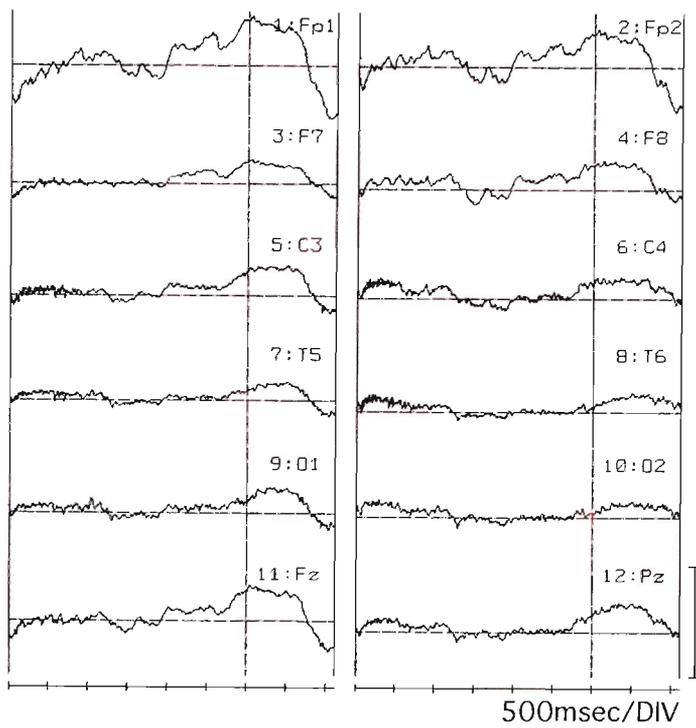
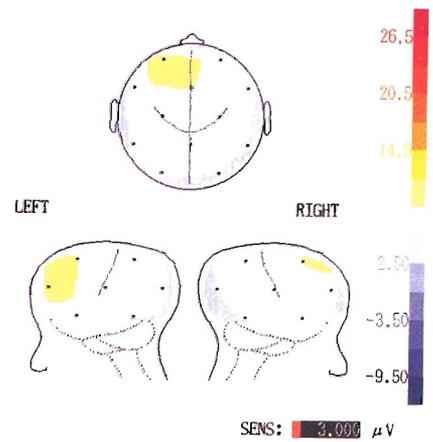
柴崎¹⁰⁾は、準備電位は、中心部正中線より動作肢の反対側へ多少偏した部位で最大であり、前後左右に広く分布する。特に、この非対称は、動作開始の前になってから明らかとなる。準備電位はほかの運動では出現しないので、随意運動の準備状態を反映していると考えられると報告している。また、鷺見と柳沢¹⁴⁾は、足の運動では運動準備電位の振幅が正中中心部で最大となることを報告している。

このことから、高難度条件における運動関連脳電位



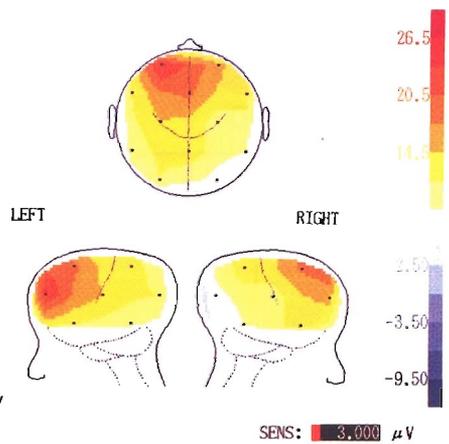
被験者B
Control

A



被験者B
RW

B



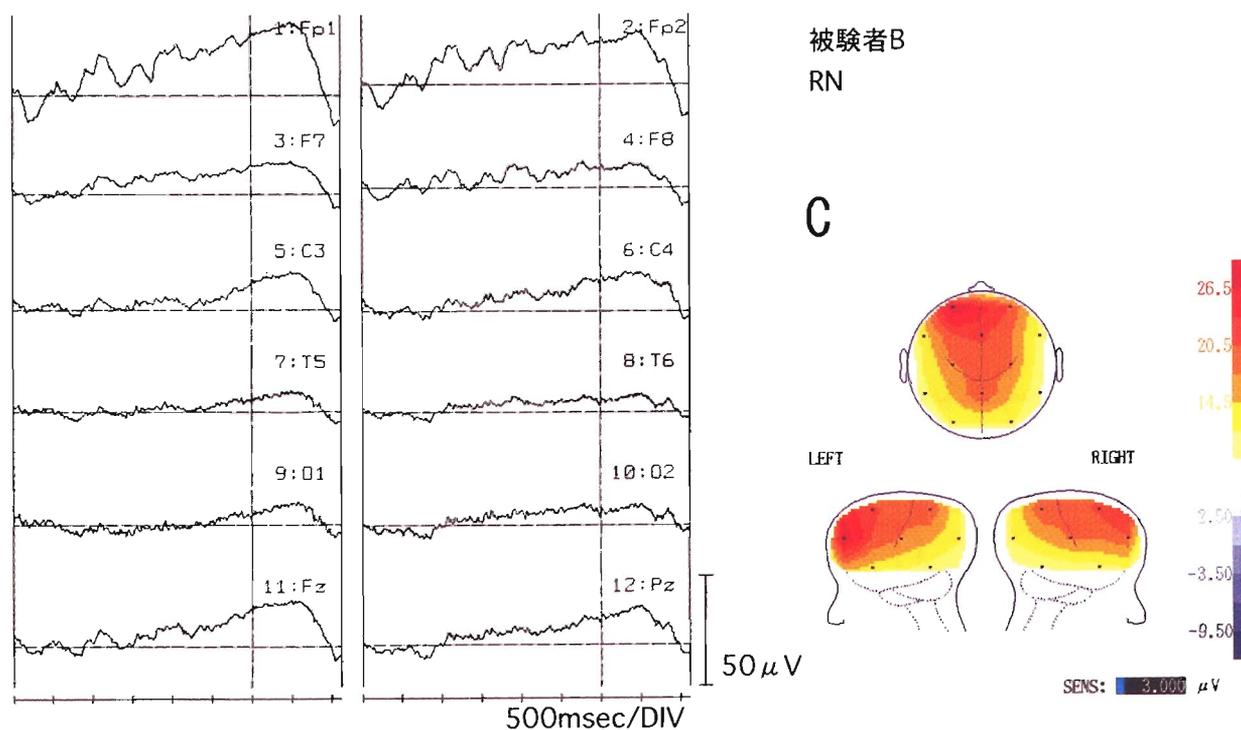


図4 課題の難易度と蹴動作の運動準備電位の頭部電位分布
A. control 条件 B. 低難易度条件 (RW) C. 高難易度条件 (RN)

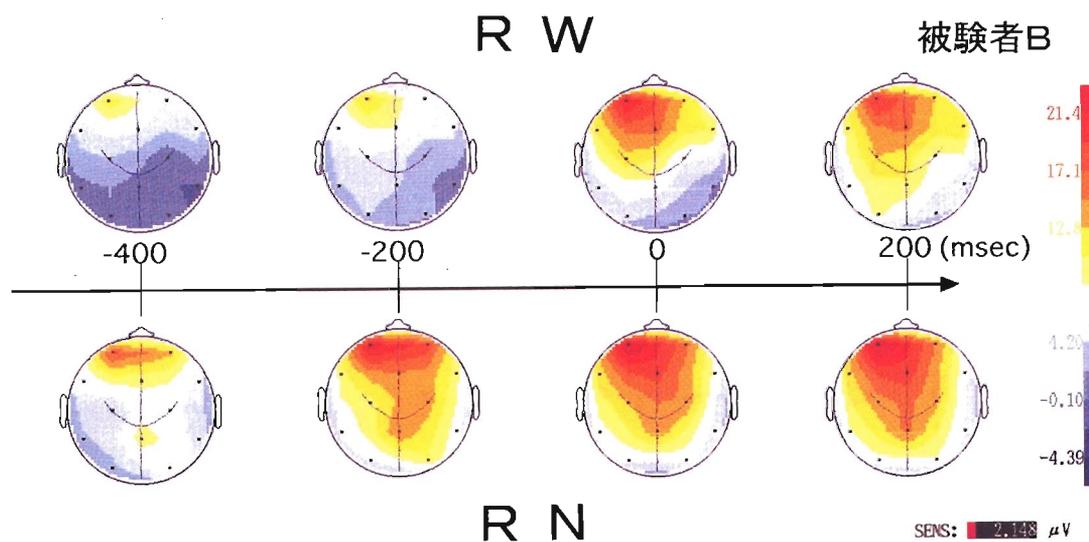


図5 課題の難易度と運動準備電位の頭部電位分布の経時的変化

は、脳電位総量だけをみれば、Fp1部位、Fp2部位、C3部位、C4部位、Fz部位の前頭部から中心頭頂領で前後左右に広い領野で脳電位の出現がみられた。有意差はなかったものの脳電位総量が低難度条件に比べ増えていることから、課題難易度の増大に伴い脳電位総量は増大する傾向にあると考えられる。

4. Topography からみた運動準備電位の頭部電位分布

Topographyによる頭部電位分布図は、被験者Bの一例を運動関連脳電位とあわせて、図4に示した。図中の縦点線は蹴動作開始時点であり、その前4secと後1secの計5secの運動関連脳電位である。基線の上側が陰性電位を示し、下側が陽性電位を示す。

被験者Bの安静状態(Control)、右足低難度条件(RW)、右足高難度条件(RN)において運動準備脳電位の頭部電位変化の分析結果から、Control条件での頭部電位分布は、どの導出部位においても低い電位分布を示し、他の被験者も同様に頭皮に分布局在を示す変化はみられなかった。RW条件での頭部電位分布は、Fp1部位、Fp2部位、F8部位、C3部位、C4部位、Fz部位を中心とした前頭部から前頭側頭部、前頭中心部にかけて高い分布局在を示し、電位量が増大した。RN条件での頭部電位分布は、Fp1部位、Fp2部位、Fz部位を中心とした前頭部から前頭中心部にかけて高い分布局在を示した。左足低難度条件、左足高難度条件においても同様の結果が得られた。そして、低難度条件時に比べて高難度条件時の方が、前頭部や前頭側頭部、中心部、頭頂部において電位分布の局在が広がり大きくなり、より高い電位になる結果が得られた。

運動準備電位の頭部電位の時間経過に伴う変化を図5に示した。被験者Bの安静状態(Control)、右足低難度条件(RW)、右足高難度条件(RN)について、両条件とも運動前から蹴動作開始時へと経時的に見ていくと、動作開始に近づくにつれて頭部電位量の大きさと電位分布が広がりが大きくなった。RW条件とRN条件を比較すると、課題の難易度の違いにより、動作開始に近づくにつれて頭部電位量の大きさと電位分布が広がりに差があることが明らかになった。また、左足低難度条件、左足高難度条件についても同様の結果が得られた。

先行研究に多くみられる手指運動に先行して頭皮上に出現する運動関連脳電位の中の準備電位は、ほとんど動作肢反対側の運動野相当部位上で優位を示すことがわかっている。しかし、本研究では足の運動時における運動関連脳電位の準備電位であったため、被験者すべてにおいて、先行研究にみられるように動作肢と反対側で優位を示す変化はみられなかった。被験者全体をみても、頭部の中心であるC3部位、C4部

位、Fz部位、Pz部位に高い電位分布がみられ、足の運動時における運動準備電位の振幅の最大となる部位と一致した。

IV. 結 論

広さの異なる2種類のゴールにボールを蹴る動作を行い、その動作前後で運動準備電位を測定し、その波形の開始時間と総電位量を求め、同時にTopography法により12部位から測定した電位から頭皮上の分布を求め、以下の結果が得られた。

- 1) 運動準備電位の開始時間は、運動野(C3部位)、正中前頭部(Fz部位)、正中後頭部(Pz部位)において課題が低難度から高難度へ変化すると有意に早くなった。
- 2) 運動準備電位の総電位量は、課題難易度の違いにより増加する傾向が得られた。
- 3) 運動準備電位の頭皮上分布は、正中中心部を中心に前頭部へかけて広い範囲に出現した。そして、難易度の違いにより、その電位分布と電位の大きさの経時的な変化に相違が認められた。

以上のことから、運動準備電位は課題の難易度によって影響を受けることが示唆された。また、Topography法により求められた頭皮上の運動準備電位は、難易度の違いにより、経時的に分布の広さと電位の大きさに違いが認められた。

V. 引用・参考文献

- 1) 岩瀬勝彦(1974)準備電位と運動. 臨床脳波16(4):242-246.
- 2) 岩瀬勝彦(1974)準備電位と随意運動の速度. 臨床脳波16(5):300-303
- 3) Kornhuber, H. H. and Deecke, L. (1965) Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferential. Pflüg. Arch. Ges. Physiol. 248: 1-17.
- 4) 正木宏明・高澤則美・山崎勝男(1994)脳の準備電位—その運動学習への適応—. ヒューマンサイエンス リサーチ 3:107-125.
- 5) 正木宏明・高澤則美・山崎勝男(1996)打鍵運動時の課題難易度が準備電位に及ぼす効果. 脳波と筋電図24(3):205-212.
- 6) 西平賀昭・藤田紀盛・荒木秀夫(1978)随意運動に先行する脳運動関連電位. 体力科学27(4):140-148.
- 7) 西平賀昭・荒木秀夫・藤田紀盛(1979)随意運動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):733-738.
- 8) 西平賀昭(1991)運動準備電位. Japanese Journal of SPORTS SCIENCES 10(8):540-545.
- 9) 西平賀昭(1995)運動と脳電位. 体力科学44:173-180.
- 10) 柴崎浩(1976)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):157-164.
- 11) 白山正人・永田晟(1991)スポーツの脳電図. Japanese Journal of SPORTS SCIENCES 10(8):526-528.

- 12) 高澤則美・山崎勝男・多喜乃亮介 (1988) 準備電位と心理要因. 生理心理 6 : 111.
- 13) 島村宗夫・中村隆一編 (1980) 運動の解析—基礎と臨床応用—. 医歯薬出版株式会社 : 東京.
- 14) 鷺見幸彦・柳沢信夫 (1988) 運動準備電位と運動様式に関する検討. 臨床脳波 30 : 93-98.

(平成12年 9 月 5 日受理)