ゴルフのパッティングについての生理心理学的検討

松 田 俊¹⁾ 武 良 徹 文¹⁾
矢 野 直 彦^{2)*} 柿 木 昇 治²⁾

Psychophysiological processes during golf putting

Takashi Matsuda¹, Tetsufumi Mura¹, Naohiko Yano^{2*} and Shoji Kakigi²

Abstract

The aim of this study was to investigate the psychophysiological processing during putting. Eight athletes were recruited as subjects from a university golf club and given 100 trials of putting a ball to a hole, which was placed 200 cm away from the ball position. EEG was recorded during the performance from Cz site with 5.0 sec time constant. Trials were divided into two categories according to the alternative judgements that were made immediately after each putt; one was a feeling of success of putting and the other was a feeling of failure. The averaged readiness potential for the feeling-of-failure trials was larger than that for the feeling-of-success trials. However, the estimated readiness potential component for the feeling-of-failure trials, which was obtained by the principal component analysis, was not larger than that for the feeling-of-success trials. Moreover, for the feeling-of-failure trials, two estimated readiness potentials and motor potentials were obtained. These results suggest that two psychological processes contribute the subjective feeling of failure in putting while only one psychological process is involved in the feeling of success in putting.

Key words: golf, putting, readiness potential

(Japan J. Phys. Educ., 36: 263-270, December, 1991.)

キーワード：ゴルフ、パッティング、準備電位

結 言

運動技能の学習に関する研究において、身体活動を構成している筋力、正確さ、タイミング等の諸要因をパフォーマンス・スコアによって明らかにすることができる。また、その学習の内容を分析する研究としては、運動や動作そのものの分析と運動や動作の学習過程を分析する方法がとられている。

運動学習の過程を考えると、学習を行動の変化としての側面からとらえて、そこにみられる現象的法則性を調べようとするのが一般的である。しかし、学習は行動的事象であるだけでなく同時に解剖学的、生理学的あるいは生化学的な物質的事象である。したがって、運動学習に対応して生体内でどのような生理学的過程が生じているかを明らかにする必要がある。

このように行動的事象の基盤をなしている生体内の物質的過程を研究する生理心理学的分野

- 1) 広島電機大学一般教育学科
〒739-03 広島県広島市安芸区中野 6-20-1
- 2) 広島修道大学人文学部
〒731-31 広島県広島市安佐南区大塚 1717
- *) 現所属 中国日本電気ソフトウェア株式会社
第二ソフトウェア開発部
〒732 広島県広島市東区若草町 9-7

1. Hiroshima Denki Institute of Technology, Department of General Education, Nakano, Aki, Hiroshima, (739-03)
2. Hiroshima Shudo University, Department of Humanities, Ohtsuka, Asaminami, Hiroshima (731-31)
- * NEC Software Chugoku Ltd., Second Software Development Department, Wakakusachou, Higashi, Hiroshima, (732)

においては、近年大脳生理学のめざましい発展に伴って情報理論を中心とした多くの研究がなされている。

随意運動の中枢性制御に関しては、微小電極法による神経生理学の徹視的立場と共に、頭皮上脳波による巨視的立場からのアプローチが、特に随意動作の統合化された特性を把握する上で重要である。後者からの立場では、背景脳波に関するもの^{2,8,21)}及び緩電位に関するもの^{9,10,12,20)}がある。

しかし、背景脳波を指標とした運動経過についての研究では、背景脳波と運動学習との間に明確な関係が認められていない。その原因として、背景脳波が運動学習事態にのみ特異的に出現する現象でなく、日常の活動の中で絶え間なく出現し、変動しているため、心理要因との明確な関連づけが行われていないことが挙げられる。課題遂行中の心理要因を反映する生理指標としては、むしろ緩電位変動がより鋭敏であると考えられる。運動に関連する緩電位変動としては、運動関連電位や CNV (contingent negative variation) などがある。

CNV は前期成分 (orienting component) と後期成分 (expectancy component) から構成されており、運動反応を求めた時には後期成分に準備電位が重畳していると言われている。CNV は期待や注意を反映する電位として注目を集め、運動反応との関係も多く研究されている。CNV の陰性電位は早い運動反応時の方が遅い運動反応時より大であり³⁾、より大きな陰性変動は小さな陰性変動に比べ反応潜時が短いという報告¹⁸⁾だけでなく、運動学習の程度も反映し¹⁴⁾、運動の準備に関連した電位として注目されている。

運動関連電位は、随意動作前約 850 ms から生じる緩やかな陰性の電位を N 1 電位 (準備電位)、動作開始の約 86 ms 前に始まる陽性電位を P 1 電位 (運動前陽性電位)、同じく動作開始の約 56 ms 前から生じる陰性の鋭波を N 2 電位 (運動電位)、及び動作後の陽性の電位を P 2 電位と呼んでいる⁵⁾。

準備電位 (N 1 電位) は、その頭皮上分布が頭頂部で振幅の優勢がみられ、かなり広汎な部位から導出されるが、中心野においては動作の対側中心野で同側に比べて振幅が大きいという特徴を示す。岩瀬¹²⁾は緩徐な運動の際に準備電位が急速運動の時より早く立ち上がることを報告し、よりゆっくり制御された運動を行うには早くから中枢で運動への準備をする必要があり、その反映が準備電位の出現時期の早遅の相違となって現れるものと指摘している。このように準備電位については随意運動の遂行に関する中枢プログラミングとの関連が示唆されている。

動作開始の約 86 ms 前に始まる陽性電位である P 1 電位については、最も不安定な成分であり、機能的意義についても不明な点が多い。P 1 電位とそれに続く N 2 電位 (運動電位) 全体が皮質脊髄路の活動を反映するものとされており⁴⁾、なんらかの運動司令と関連するものと推察されている^{6,7)}。

N 2 (運動電位) に関しては比較的研究が進みいくつかの知見が得られている。N 2 電位の頭皮上分布については動作の対側中心部に優位に出現することが一般に指摘されている。

動作後の陽性電位である P 2 電位に関しては、最も古くからその存在が知られており、動作後の筋感覚求心性フィードバックと中枢内フィードバックを反映する¹⁾といわれている。

以上の研究は生理学的な立場からの基礎研究が主であるが、CNV と同様に体育心理学的な研究もあり、緩徐な運動の際に急速運動の時より速く立ち上がるという報告⁸⁾や、課題の習得にしたがい準備電位が大きくなるという結果を得ている²⁰⁾。CNV の測定では一般的に S₁-S₂-MR の単純反応時間課題を用いるため課題の制約が伴うのに対し、準備電位は随意運動状態で測定されるため自由な運動の検索に適している。しかし、準備電位はその測定自由度が高いにもかかわらず、加算平均の困難さやアーティファクトの混入しやすさから、従来の研究では、指の伸展、足の屈曲といった局所的な運動課題が用いられることが多く、実質的な体育・スポー

ッ場面での複雑な運動についての研究には、殆ど手がつけられていないのが現状である。

そこで、本研究では、より实际的な運動課題としてゴルフのバッティングを用い、バッティングの準備、遂行、完了といった一連の動作時の緩電位変動について検討する。これまでの準備電位の研究は、課題に対する正誤あるいは成否のない単純な運動課題が用いられることが多く、たとえ成否があっても結果としての成否を基準とした分析が行われ、いわゆるその動作遂行に係わる心理的プロセスを基準とした分析が行われることは少ない。単純な運動課題において、その結果として一義的に成否が決まるような事態であれば、結果の成否を基準とした分析は妥当であろう。しかし、本実験に用いたゴルフのバッティングは、単純な運動課題と異なり、運動の完結と結果としての成否（カップインしたか否か）が一致しない事が多く、運動的・心理的プロセスから見れば動作者が意図したと通りに課題を遂行できたか否かが重要であろう。そこで、遂行結果ではなく被験者が遂行時に感じた成功感・失敗感に基づき分類した試行における緩電位変動について検索することを目的とする。

方 法

1. 被験者

男子大学生 8 名（年齢範囲 19—23 歳，平均年齢 20.4 歳）を被験者として用いた。全被験者は大学ゴルフ部員であった。

2. 反応の測定及び記録

本実験では、生理反応として脳波及び眼球電位を測定した。脳波は、Cz を活性電極とし左右両耳朶を結合して不関電極、右乳様突起を接地電極として単極導出した。脳波は、生体用プリアンプ（日本光電社製 AB-622 M）により時定数 5.0 秒で交流増幅した。眼球電位は右眼眼窩上下縁部に電極を装着し、生体用プリアンプ（日本光電社製）により時定数 5.0 秒で交流増幅した。脳波及び眼球電位の導出には、銀—塩化銀電極（ベックマン社製）を用いた。

バッティング試行は、被験者がバターを構えた時点から測定を開始し、バターヘッドが運動を開始した時点（テークバック開始時点）後 3 秒間測定した。測定したデータは、バターヘッドの運動開始時点を基点として、前後 3 秒間をフロッピーディスクに磁気記録した。バターヘッドの運動開始時点は、バターヘッドから 30 cm の距離に設置したミラー型ビームセンサ（サックス社製）により検出した。

導出した脳波及び眼球電位をパーソナルコンピュータ（NEC 社製 PC-9801 E）内蔵の A/D 変換ボード（コンテック社製）によって 10 ms 毎に A/D 変換し、パーソナルコンピュータに接続してあるフロッピーディスクに磁気記録した。

3. 実験条件

本実験では、運動課題としてゴルフのバッティングを用いた。バッティングはバット練習台（縦 475 cm，幅 123 cm，高さ 21 cm の水平な台の上に幅 93 cm の人工芝を二重に敷いたもの）の上で行った。バット練習台には、練習台の終端から 125 cm の位置、被験者から 200 cm の距離にカップ（直径 10.8 cm）があげてある。バッティング試行数は 100 試行とした。実験に使用したバターは、被験者が通常使用しているバターであり、ゴルフボールは直径 4.3 cm，重さ 46 g であった。

バッティングは、通常の自己のテンポで行い、疲労を感じれば休憩してよいことを教示した。バッティング試行終了後、バターヘッドがボールに当たった瞬間（インパクト時）にボールがカップに入ると感じたかどうかについて報告を求めた。被験者は 15—20 試行バッティングを行おうと休憩し、バッティングを 100 試行行った。試行間間隔は 15—30 秒であった。

4. 結果の処理及び分析

結果的にボールがカップに入ったか否かにかかわらず、インパクトの瞬間にバッティング動作が意図通り完結し、ボールが入ると感じたか否かによる遂行結果予想により成功予想試行と失敗予想試行に分類した。成功予想試行とは被

Fig. 1. Analysis period of RPs. RPs were measured from 3 sec before subject's take back to 3 sec after the take back. RPs were analyzed from 1.5 sec before subject's take back to 1.3 sec after the take back to reject EOG potentials as an artifact.

験者自身がきちんとパッチング出来たと感じた試行であり、失敗予想試行はそれ以外の全ての試行である。成功予想試行と失敗予想試行の比率は概ね 3 : 1 となった。

緩電位変動の分析においては、テークバック開始時点をもととし、基点前 1.5 秒から基点後 1.0 秒までの 2.5 秒間に眼球電位が基準以上変動した試行は分析の対象から除外した。基線は、テークバック開始時点前 1.5 秒から基点前 1.3 秒までの 0.2 秒間^{11,13-17)}の平均とした。緩電位変動の分析時間を Fig. 1 に示す。

以上の分析後、遂行結果予想(成功予想試行、失敗予想試行)別にテークバック開始時点をもととして加算平均した。眼球電位が混入した試行を厳密に除外したため、加算平均に用いた試行数は 10 試行内外となった。また、準備電位の構成成分を因子分析と重回帰分析により予測した^{15,17)}。用いたデータは 20 ms 毎の脳波の振幅であり、総試行数は成功予想試行で 224、失敗予想試行で 82 であった。因子分析は 30 因子抽出した後に、varimax 回転を行った。その後、平均波形を従属変数、各因子を独立変数として重回帰分析を行った。これらの分析は世界的に定評がある SAS を用いて行った。

結 果

テークバック開始時点をもととし、遂行結果予想(成功予想試行、失敗予想試行)別に加算

平均した波形を Fig. 2 に示す。テークバック開始前後とも失敗予想試行の電位が成功予想試行の電位よりも大きくなっている。失敗予想試行のテークバック開始以前の緩電位は、成功予想試行の緩電位に比べて急速に立ち上がっていることが視察できる。

Fig. 3 はテークバック開始時点をもととし、テークバック開始前 1.5 秒から開始後 1.0 秒までの 2.5 秒間の遂行結果予想(成功予想試行、失敗予想試行)による波形の 0.1 秒間毎の平均電位を示している。0.1 秒毎の区間について成功予想試行と失敗予想試行の電位の検定を行った結果、テークバック開始時点前 0.1 秒と開始時点前 0.2 秒のポイントで失敗予想試行の電位が成功予想試行の電位より大きいことが認められた(開始時点前 0.1 秒: $t=2.63$, $df=7$, $p<.05$; 開始時点前 0.2 秒: $t=3.27$, $df=7$, $p<.05$)。また、テークバック開始時点後 0.8 秒及び開始時点後 0.9 秒の区間においても失敗予想試行の電位が成功予想試行の電位より大きいことが認められた(開始時点後 0.8 秒: $t=2.64$, $df=7$, $p<.05$; 開始時点後 0.9 秒: $t=3.28$, $df=7$, $p<.05$)。

予測された特徴的な成分を Fig. 4 に示した。成功予想試行においては、テークバック前 1,460 ms から大きな陰性緩電位が立ち上がり、分析区間終了まで継続している。一方、失敗予想試行ではこれと同じ陰性緩電位が認められる

Fig. 2. Grand average of RPs and EOG in the feeling-of-success trials and the feeling-of-failure trials.

が、成功予想試行と比較すると小さい。また、テークバック前 1,340 ms から小さな陰性緩電位が立ち上がり、テークバック前 720 ms をピークとして以後減少している。運動電位と思われるテークバック前後の陰性緩電位は成功予

想試行ではテークバック前 60 ms をピークとして小さく現れているが、失敗予想試行ではテークバック前 100 ms をピークとする大きな電位と、テークバック時をピークとする中程度の電位の 2 つの成分が認められた。

Fig. 3. Mean amplitudes of RPs in the every 100 msec period and the results of t-test.

Fig. 4. Wave forms of estimated factors of RPs in the feeling-of-success trials (bold) and the feeling-of-failure trials (thin).

考 察

今回のバッティング動作により得られた準備電位の波形は一般的な準備電位と比較し波形が大きく異なる。

まず第一に、陰性電位の生起が相当早い時期から生起している。これはバッティング動作が緩徐な運動であったためと推察される¹²⁾。

第二に、運動開始前後に P2 が認められず、運動終了後もカップにボールが届くまで陰性電位が持続して、その復帰も緩やかである。これは、一つにはバッティング動作がテークバック開始からインパクトそしてフォロースルーと比較的長期に渡る一連の運動であったためであろう。この様な継続時間の長い運動では陰性電位の基線への復帰が遅れることはタイピングを用いた研究¹⁴⁾でも報告されている。また、動作終了後も結果の成否を被験者が認知するまでに時間があるため完了感^{13,16)}を得る時期が遅れたことから陰性電位の復帰の抑制が生じたものと考えられる。このことは準備電位も CNV と同様に期待などの心理過程を反映する、あるいは今回の波形には期待波が重畳していることを示唆するものであろう。

第三に、得られた陰性電位の大きさが従来の研究と比較し非常に大きい。これは、眼球電位のアーティファクトは厳密に除いているので他の要因と思われる。従来の研究で用いられた課題は被験者にとって課題への興味や関心、すなわち課題自体への関与度が低く、また随意運動とは言いながら、それは運動開始が随意であるのみで、被験者の置かれた状態から考えれば実験室における強制運動であり、能動的な随意運動とは言いがたい。そのため、運動自体に対する随意性に差があり、また運動の開始前における集中度にも差があったためであろう。今回のバッティングは実験室における多数回の測定であり、実際のゲームにおける状態とは程遠いが、キー押しやレバー引きに比較すれば、被験者の主体性、随意性や集中度は比較にならない。また、P 300 においても被験者の関与度が電位の

大きさに影響を与える報告¹¹⁾もあることから被験者の課題に対する関わり方が影響した可能性も考えられる。

次に、成功予想試行と失敗予想試行を比較した場合、平均波形で見る範囲では失敗予想試行が成功予想試行よりも大きな陰性電位を示している。しかし、その成分を分離、予測してみるとまったく異なるという興味ある結果が得られた。失敗予想試行においては準備電位と運動電位にそれぞれ2つずつの成分が認められ、2つの運動が平行して実施されている事が伺える。それに対して成功予想試行では大きな1つの準備電位と小さな運動電位が認められ、バッティングにおける運動の一貫性が認められた。この事は、多くのゴルファーが経験する事であるが、バッティング時に雑念がはいり、すなわちバッティング以外の動作あるいは思考が混在し集中出来なかった。または、バッティング自体の動作が一貫して行われずいくつかの、今回は2つの、運動に分離されてしまった事を示しているのではなかろうか。

従来の研究では準備電位をはじめとする運動関連電位は他の事象関連電位と同様に潜時、部位、極性の比較により幾つもの成分に分けられて研究され、随意運動の前後にわたり計8成分が報告されており¹⁹⁾運動関連脳電位がさらに複雑な構成であることが示唆されている。今回の分析では導出部位や資料数が少ないため、従来報告されている程の多数の成分は見いだせなかった。また、成功予想で結果も成功あるいは、失敗というような細かな分析も出来なかった。しかし、従来のように平均波形のみで検討するのは全く異なる結果が得られたことは意義深い。今後これらの成分の同定と、その機能的意義を明確にする必要があると言えよう。

今後の運動に関連した電位の研究においては、被験者に親密な課題を用い、その電位成分まで比較検討する事が必須であると思われる。

文献 (References)

- 1) Arezzo, J. and Vaughan, H.G. Jr. (1980)

- Intracortical sources and surface topography of the motor potential and somatosensory evoked potential in the monkey. In: Kornhuber, H.H. and Deecke, L. (Eds.) *Progress in Brain Research* 54: Elsevier: Amsterdam. pp. 72—83.
- 2) Autret, A., Auvert, L., Laffont, F. and Larmande, P. (1985) Electroencephalographic spectral power and lateralized motor activities. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 60: 228—236.
 - 3) Brunia, C.H.M. and Vingerhoets, A.J.J.M. (1980) CNV and EMG preceding a plantar flexion of the foot. *Biol. Psychol.* 11: 181—191.
 - 4) Deecke, L., Eisinger, H. and Kornhuber, H.H. (1980) Comparison of Bereitschaftspotential, pre-motion positivity and motor potential preceding voluntary flexion and extension movements in man. In: Kornhuber, H.H. and Deecke, L. (Eds.) *Progress in Brain Research* 54. Elsevier: Amsterdam. pp. 171—176.
 - 5) Deecke, L., Heid, P.S. and Kornhuber, H.H. (1969) Distribution of readiness potential, premotor potential, and motor potential of the human cerebral cortex preceding voluntary finger movements. *Exp. Brain Res.* 7: 158—168.
 - 6) Gerbrandt, L.K., Goff, W.R. and Smith, D.B. (1973) Distribution of the human average movement potential. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 34: 461—474.
 - 7) Gilden, L., Vaughan, H.G. Jr. and Costa, L.D. (1966) Summated human EEG potentials with voluntary movement. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 20: 433—438.
 - 8) Gliner, J.A., Mihevic, P.M. and Horvth, S.M. (1983) Spectral analysis of electroencephalogram during percentual-motor learning. *Biol. Psychol.* 16: 1—13.
 - 9) 後藤 平・安達敏彦・片山宗一 (1973) 随意運動に先行するいわゆる準備電位と分析脳波, 反応時間との関係について. *臨床脳波* 15: 470—477.
 - 10) Hink, R.F., Kohler, H., Deecke, L. and Kornhuber, H.H. (1982) Risk-taking and the human Bereitschaftspotential. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 53: 361—373.
 - 11) 平 伸二・中田美喜子・松田 俊・柿木昇治 (1989) 事象関連電位 (P3, CNV) を指標とした虚偽検出. *生理心理と精神生理* 7: 11—17.
 - 12) 岩瀬勝彦 (1974) 準備電位と随意運動の速度. *臨床脳波* 16: 300—303.
 - 13) Kakigi, S., Matsuda, T. and Hagino, G. (1978) Factors affecting the resolution of contingent negative variation (CNV). *Japanese Psychol. Res.* 20: 187—190.
 - 14) 松田 俊 (1988) 運動学習についての生理心理学的検討. *スポーツ心理学研究* 15: 23—28.
 - 15) 松田 俊・中田美喜子 (1989) SAS と FORTRAN による事象関連電位成分の推定. *広島電機大学研究報告* 22: 123—129.
 - 16) 松田 俊・寺谷美喜子・柿木昇治 (1980) CNV (随伴陰性変動) の復帰についての分析. *心理学研究* 51: 203—206.
 - 17) 中田美喜子・柿木昇治 (1989) CNV の主成分分析による電位同定—漢字情報処理過程の検討—. *広島修大論集* 29: 243—252.
 - 18) Rockstroh, B., Elbert, T. and Lutzenberger, W. (1982) The effects of slow cortical potentials on response speed. *Psychophysiology* 19: 211—217.
 - 19) Shibasaki, H., Barrett, G., Halliday, E. and Halliday, A.M. (1980) Components of the movement-related cortical potential and their scalp topography. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 49: 213—226.
 - 20) Taylor, M.J. (1978) Bereitschaftspotential during the acquisition of a skilled motor task. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 45: 568—576.
 - 21) Woodruff, D.S. (1975) Relationships among EEG alpha frequency, reaction time, and age: A biofeedback study. *Psychophysiology* 12: 673—681.

平成元年11月24日受付)