

脳波基礎律動の正常範囲の再考

—デジタル脳波計による学生実習データの有効活用—

岡 村 法 宜*

Re-examination of Normal Ranges of Background Activity of EEG —Effective Use of Electroencephalograms Recorded in Student Experiments by Digital Electroencephalograph—

Noritaka OKAMURA*

Abstract

The purpose of this study was re-examining normal ranges of background activity of EEG. The subjects of this study were 34 healthy college students(4 males, 30 females). The age of all subjects was 20 years old. The reproducibility of the electrode placement in our student experiments have been improved by using an electro-cap from 2002. The electroencephalograms recorded in student experiments from 2002 to 2005, were analyzed by using analysis functions attached to common digital electroencephalograph. Asymmetry in peak frequency of background activity was 3.0 % and that in amplitude was 12.2 %. In addition, the standard deviation in peak frequency was very small, but that in amplitude was big. For this reason, it is proposed that upper limit of normal range of asymmetry should be lowered in peak frequency of background activity, on the other hand, that in amplitudes should be raised.

Key Words : EEG, background activity, alpha rhythm, normal range, asymmetry

序 文

臨床検査に利用されている生体電気信号記録の中でも、脳波ほどその判定に視察が重要な地位を占めるものはない。ポータブルの脳波計で記録された最も情報量の少ない記録でも、最低6～8導出の脳波が記録され、最も普及している14～18素子の脳波計では12～16導出の脳波が記録される。また、脳波は概ね30分以上記録されることが多く、このような多くの情報を自動解析するには、多大な時間と高性能な処理機能を有するコンピュータが必要となる。現在のパーソナルコンピュータは非常に高い演算性能を有しているが、熟練した脳波判読者のように脳波を判定するに至っていない。その理由として、正常脳波に多くのバリエーションが存在することと、正常範囲を周波数や振幅といった単純な数値のみで表すことが出来ないことが挙げられる。一方で、現在のデジタル脳波計のほとんどに、周波数解析機能や振幅の分布を等高線表示する機能が付加されているが、臨床脳波を判定する際に、これらが利用されることは少ない。

このように正常な脳波にも、多様なパターンが存在し、時々刻々と変化する様から、脳波の変化は多彩な精神活動に対応しているのではないかと考えられていた。1929年にドイツ人精神科医 Berger¹⁾によってヒトの脳波がはじめて記録されてから、脳波と精神活動に関する多くの研究がなされてきた。しかし、精神活動と多彩な脳波変化については、そのほとんどが未知のままである。また、精神性疾患と脳波の関係についても、古くより一部のタイプの統合失調症で、低電位速波が汎性に出現するの混入という報告^{2,3)}がある程度で、それ以外の疾患については特徴的な脳波所見は報告されていない。実際に脳波が重要な所見となりうるのは、突発性異常波の出現が特徴的なてんかんの診断、睡眠障害の診断および脳死判定時であろう。

このような状況では、様々な精神活動に関連した脳波を発見するより、今一度、覚醒状態における安静閉眼時脳波、いわゆる基礎律動について、その正常像のバリエーションを再検討する必要があるのではないだろうか。脳波の基礎律動は、脳波検査時に記録された脳波の大半を

*愛媛県立医療技術大学保健科学部臨床検査学科

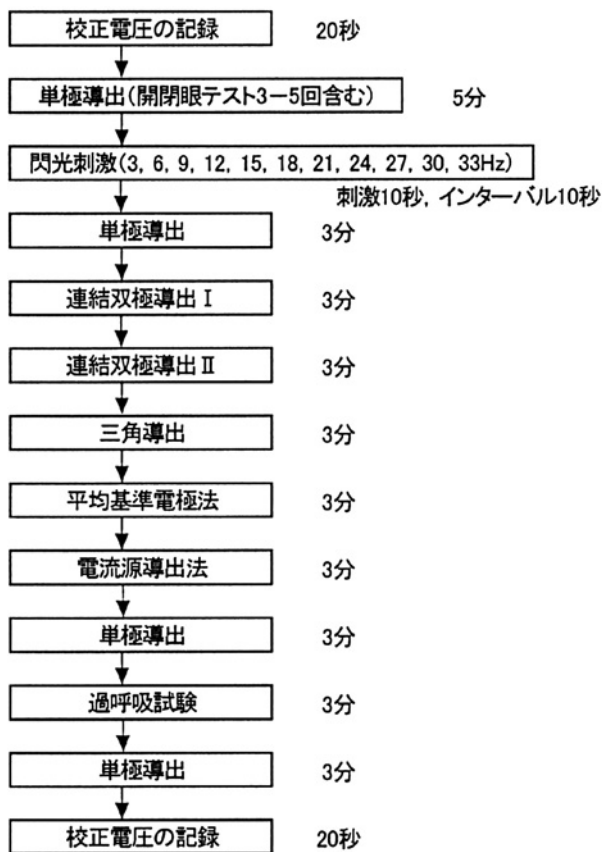


図1. 脳波測定手順

占め、所見用紙にも必ず最初に記載されている。それにもかかわらず、脳波を判読する際に重要視されず、突発性異常波や賦活後の脳波に判読者は注意を向けられがちである。これは前述したように、基礎律動には多くのバリエーションがあり、そのバリエーションが脳機能の何を示しているのかが未知であり、正常と異常の境界が明確でないためであろう。

今回、正常者の基礎律動のバリエーションを再検討するために、A短期大学生理機能検査学実習で記録された学生の脳波の中から、電極配置の再現性がよいキャップ電極を用いて記録された34名の基礎律動について、汎用のデジタル脳波計に付加されている解析機能を利用して正常者の基礎律動のパターン検討した。

方 法

1. 解析対象データの取得

解析対象データは、平成14~17年度のA短期大学臨床生理学・生理機能検査学の学生実習で、キャップ電極を用いた脳波実習の際に記録された。データ利用の許可が得られた34名(男性4名、女性30名、年齢は全員20歳)について、解析を実施した。

2. 脳波記録

国際10/20電極配置キャップ電極(ELECTRO-CAP INTERNATIONAL, INC. 製, エレクトロキャップ) Mサイズを被検者に装着し、脳波測定用リクライニングチェアに座らせ、14素子デジタル脳波計(日本光電社製, EEG-1514)を用いて、図1の手順、表1のモニタージュで脳波を記録した。脳波計の設定は、サンプリング周波数500 Hz、システムリファレンスをC3, C4とし、測定した脳波はハードディスク上に保存した。

表1 脳波導出に使用したモニタージュ

	単極導出		連結双極導出 I		連結双極導出 II		三角導出		平均基準電極法		電流源導出法	
	G 1	G 2	G 1	G 2	G 1	G 2	G 1	G 2	G 1	G 2	G 1	G 2
CH 1	Fp 1	A 1	Fp 1	F 7	Fp 1	Fp 2	Fp 1	F 7	Fp 1	AV	Fp 1	SD
CH 2	Fp 2	A 2	F 7	T 3	F 7	F 3	F 7	F 3	Fp 2	AV	Fp 2	SD
CH 3	F 7	A 1	T 3	T 5	F 3	Fz	F 3	Fp 1	F 7	AV	F 7	SD
CH 4	F 8	A 2	T 5	O 1	Fz	F 4	F 7	T 5	F 8	AV	F 8	SD
CH 5	C 3	A 1	Fp 1	C 3	F 4	F 8	T 5	O 1	C 3	AV	C 3	SD
CH 6	C 4	A 2	C 3	O 1	A 1	T 3	O 1	F 7	C 4	AV	C 4	SD
CH 7	P 3	A 1	Fp 2	F 8	T 3	Cz	Fp 2	F 8	P 3	AV	P 3	SD
CH 8	P 4	A 2	F 8	T 4	Cz	T 4	F 8	F 4	P 4	AV	P 4	SD
CH 9	O 1	A 1	T 4	T 6	T 4	A 2	F 4	Fp 2	O 1	AV	O 1	SD
CH10	O 2	A 2	T 6	O 2	T 5	P 3	F 8	T 6	O 2	AV	O 2	SD
CH11	F 7	A 1	Fp 2	C 4	P 3	P 4	T 6	O 2	F 7	AV	F 7	SD
CH12	F 8	A 2	C 4	O 2	P 4	T 6	O 2	F 8	F 8	AV	F 8	SD
CH13	Fz	A 1	F 7	F 8	O 1	O 2	A 1	A 2	Fz	AV	Fz	SD
CH14	ECG		ECG		ECG		ECG		ECG		ECG	

頭皮上部位を示した記号は臨床神経生理学会で規定された記号、ECGは心電図II誘導。

3. 脳波の解析

脳波の解析は、脳波計に組み込まれている脳波解析プログラム (EEGFOCUS2.1) を使用した。解析対象は、脳波記録開始から5分間の覚醒安静閉眼時脳波とした。導出法は、記録に使用した耳朶基準電極法とし、デジタルフィルタを用いて、時定数0.3秒、高域遮断周波数35Hzに設定した。5分間の記録から開閉眼試験の影響およびアーティファクトの混入がない記録を5秒1区画として、5区画のパワースペクトラムを高速フーリエ変換法 (FFT法) で求め平均値を算出した。また、左右面、上下面および前後面の α 帯域電位マップを作製した。

4. 統計解析

前頭部、中心領、側頭部、後頭部の各々の左右対称部位について、ピーク周波数、ピーク周波数における振幅の平均値を non-parametric student t-test を用い左右差の有無を検定した。また、同側半球内の前頭部、中心領、側頭部、後頭部について、一元配置分散分析を用いてピーク周波数、ピーク周波数における振幅の平均値を検定した。

結 果

1. ピーク周波数・ピーク周波数における振幅

1名両側頭部において、ピークが β 帯域の被験者がいたが、その他の被験者では、測定した全ての部位でピーク周波数は α 帯域に存在した。表2に左右の前頭部 (F3, F4)、中心領 (C3, C4)、後頭部 (O1, O2) 側頭部 (T3, T4) のピーク周波数とピーク周波数における振幅を示した。また、表3に左右対称部位、表4に同

側半球内でのピーク周波数とピーク周波数における振幅の有意差の有無を示した。

左右対称部位のピーク周波数は、C3, C4が 10.27 ± 1.01 (平均値 \pm 標準偏差) Hz, O1, O2が 10.41 ± 0.72 Hz, 10.49 \pm 0.71 Hzで、中心領と後頭部において右半球が有意に高周波であった ($p < 0.05$)。また、最もピーク周波数の左右差が大きかったのは中心領で、C3に対して、C4では平均3.0%高周波だった。一方、左右対称部位のピーク周波数における振幅は、F3, F4において $20.65 \pm 7.7 \mu\text{V}$, $23.24 \pm 9.17 \mu\text{V}$, C3, C4が $15.33 \pm 4.13 \mu\text{V}$, $16.80 \pm 4.90 \mu\text{V}$, およびO1, O2が $48.75 \pm 19.10 \mu\text{V}$, $54.70 \pm 23.90 \mu\text{V}$ で、前頭~後頭部において右半球が有意に高振幅であった (前頭部: $p < 0.05$, 中心領, 後頭部: $p < 0.01$)。また、最もピーク周波数の左右差が大きかったのは後頭部で、O1に対して、O2では平均12.2%高振幅だった。

同側半球内での比較では、左半球のピーク周波数はF3が 9.89 ± 1.02 Hz, O1が 10.41 ± 0.72 Hz, T3が 10.55 ± 1.15 Hzで、前頭部が後頭部、側頭部に比べ有意に低周波であった (後頭部: $p < 0.05$, 側頭部: $p < 0.01$)。左半球のピーク周波数における振幅は、F3が $20.65 \pm 7.7 \mu\text{V}$, C3が $15.33 \pm 4.13 \mu\text{V}$, O1が $48.75 \pm 19.10 \mu\text{V}$, T3が $9.87 \pm 3.71 \mu\text{V}$ で、後頭部が他の導出部位に、前頭部が側頭部に比べ有意に高振幅だった ($P < 0.01$)。右半球のピーク周波数はF4が 10.09 ± 0.96 Hz, O2が 10.49 ± 0.71 Hz, T3が 10.66 ± 1.01 Hzで前頭部が後頭部、側頭部に比べ有意に低周波であった (後頭部: $p < 0.05$, 側頭部: $p < 0.01$)。右半球のピーク周波数における振幅は、F4が $23.24 \pm 9.17 \mu\text{V}$, C4が $16.80 \pm 4.90 \mu\text{V}$, O1が $54.70 \pm 23.90 \mu\text{V}$, T3が $10.08 \pm 4.48 \mu\text{V}$ で、後頭部が他の導出部位に、前頭

表2 前頭部、中心領、後頭部、側頭部における基礎律動のピーク周波数とピーク周波数における振幅

Left side	F3	C3	O1	T3
Peak Frequency [Hz]	9.89 \pm 1.02	10.27 \pm 1.01	10.41 \pm 0.72	10.55 \pm 1.15
Peak Amplitude [μV]	20.65 \pm 7.70	15.33 \pm 4.13	48.75 \pm 19.10	9.87 \pm 3.71
Right side	F4	C4	O2	T4
Peak Frequency [Hz]	10.09 \pm 0.96	10.58 \pm 0.88	10.49 \pm 0.71	10.66 \pm 1.01
Peak Amplitude [μV]	23.24 \pm 9.17	16.80 \pm 4.90	54.70 \pm 23.90	10.08 \pm 4.48

n=34

表3 基礎律動のピーク周波数とピーク周波数における振幅の左右差の有無

	Peak Frequency	Peak Amplitude
F3 vs F4	—	*
C3 vs C4	*	**
O1 vs O2	*	**
T3 vs T4	—	—

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, n=34

表4 基礎律動のピーク周波数とピーク周波数における振幅の半球間差の有無 a) 左半球, b) 右半球

a)				b)			
C3	—/—			C4	—/—		
O1	**/**	—/**		O2	**/**	—/**	
T3	**/**	—	—/**	T4	**/**	—	—/**
	F3	C3	O1		F4	C4	O2

ピーク周波数の有意差の有無/ピーク周波数における振幅の有意差の有無。*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, n=34

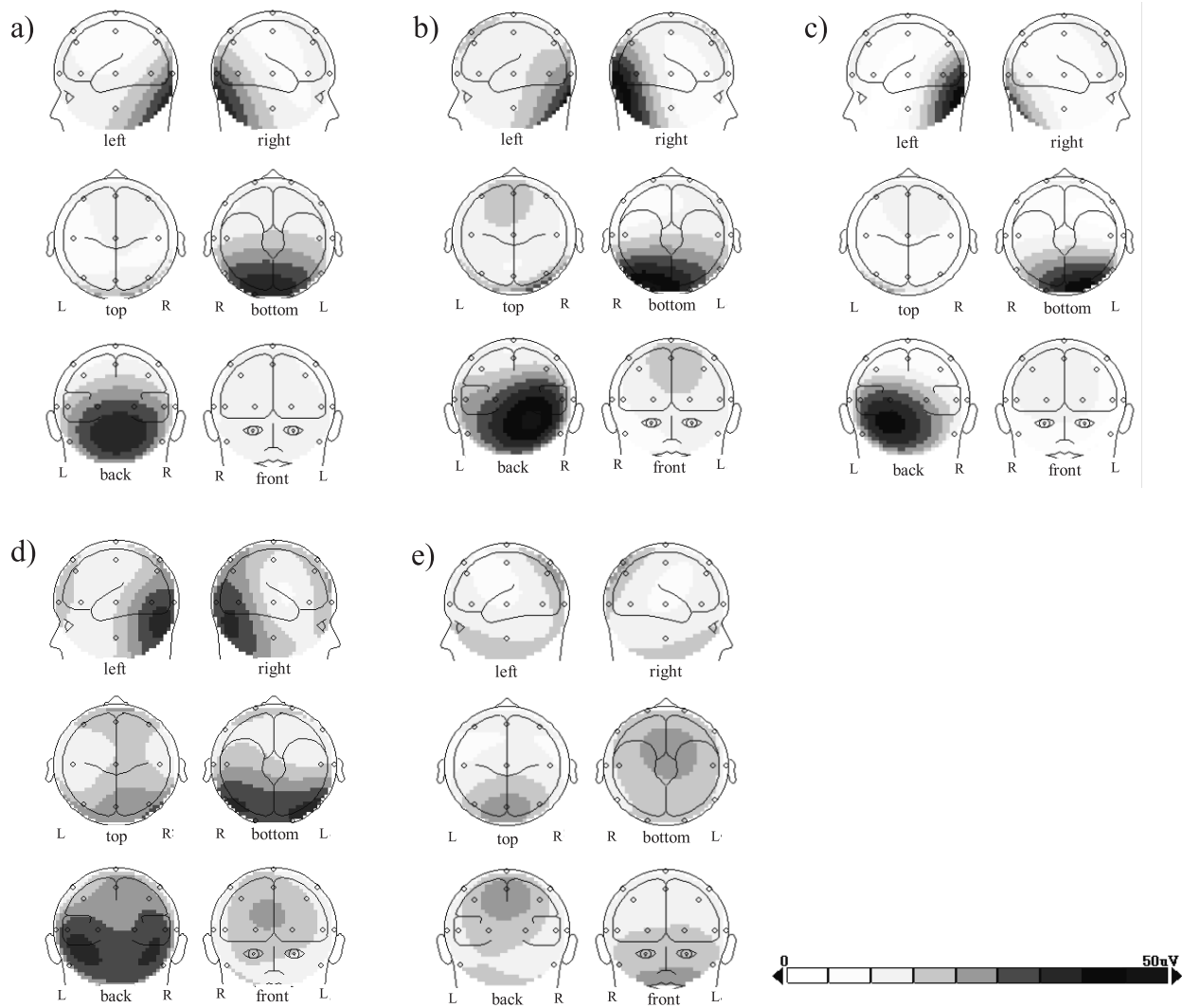


図2. 基礎律動の α 帯域の等電位マップ

- a) 後頭正中線部優位型, b) 右後頭部優位型, c) 左後頭部優位型
 d) 両側後頭部優位型, e) 頭頂正中線部優位型

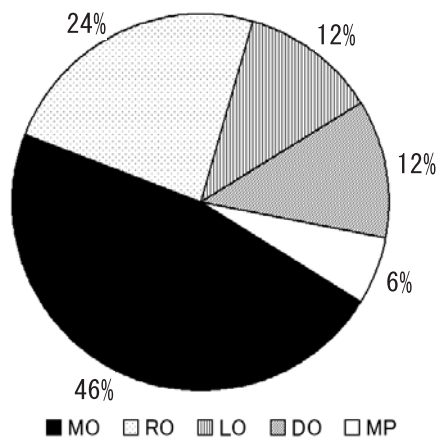


図3. α 帯域優位部位による分類の各タイプ比

MO: 後頭正中線部優位型, RO: 右後頭部優位型, LO: 左後頭部優位型,
 DO: 両側後頭部優位型, MP: 頭頂正中線部優位型

部が側頭部に比べ有意に高振幅だった ($P < 0.01$)。

2. α 帯域の電位マップ

作製した α 帯域の電位マップの最大振幅部から、 α 波の電位分布は、後頭正中線部優位型 (図 2 a)、右後頭部優位型 (図 2 b)、左後頭部優位型 (図 2 c)、両側後頭部優位型 (図 2 d)、頭頂正中線部優位型 (図 2 e) の 5 タイプに分類することができた。それぞれのタイプの頻度は、後頭正中線部優位型が最も多く 16 例 (47.1%)、次いで右後頭部優位型 8 例 (23.5%) で、以下、左後頭部優位型と両側後頭部優位型が同数の 4 例 (11.8%)、最も少なかったの頭頂正中線部優位型の 2 例 (5.9%) であった (図 3)。

考 察

一般的に脳波の基礎律動は、9 ~ 11Hz、50 μ V 前後の α 波が両側後頭部優位に出現し、左右差は認められない⁴⁾とされている。一方で、基礎律動の左右差については、周波数で 10%、振幅で 20% 以内としている報告⁵⁾や振幅については 50% 以内としている報告⁶⁾もある。今回の、基礎律動のピーク周波数は、中心領と後頭部で有意な左右差が認められたが、最大でも中心領の平均 3.0% であった。この結果から、基礎律動の周波数の左右差について、その正常範囲をより小さく設定すべきではないだろうか。現在使用されている 10% という左右差は、漸減・漸増のたびリセットを繰り返しながら脳波が発生した場合、視察で検出できる最低限の周波数の左右差と考えられる。したがって、基礎律動の左右差をより正確に把握する場合、FFT 法による解析を実施することが望ましい。一方、ピーク周波数における振幅では、前頭～後頭部で有意な左右差が認められたが、その差は後頭部で最も大きく平均 12.2% だった。基礎律動の振幅の左右差を 20% 以内とする基準内にあったものの、振幅については、標準偏差が平均値の 40% 程度で個人差も大きく、20% 以上の左右差を示した者も多数いた。これらの被験者は、脳波記録全てを通して視察によって判読しても、基礎律動の振幅の左右差以外に異常と思われる所見がなく、脳波レポートでは、Normal EEG とされる脳波像を呈していた。したがって、脳波の左右差について、基礎律動の振幅が左右対称部位で 20% 以内とする基準は採用せず、50% 以内とする基準を採用すべきである。

同側半球内の比較では、ピーク周波数が α 帯域であるものの前頭部で、後頭部、側頭部に対して有意に低くなっていたが、これは古くより報告⁷⁾されており、脳波研究者間でも一致した見解である。同様にピーク周波数における振幅についても、後頭部で最も大きく、次いで前頭部、中心領、側頭部の順であり、初期の FFT 法を脳波解析に使用した研究⁸⁾と今回の結果は同様の結果となった。

今回、基礎律動の振幅が小さく視察では律動性が確認できないような被験者についても、アーティファクトの混入していない区画を任意に選択し、FFT 法によって、パワースペクトラムを求めると、そのピーク周波数は α 帯域にあった。このような被験者は、正常者の 10% 程度存在するといわれている低電位速波波形を呈するとされていたタイプ⁹⁾であろう。ところが、今回の結果では、一見すると低電位速波波形と分類されていた被験者でも、その基礎律動は α 帯域が有意であることが示された。ただし、律動性が確認できないような脳波を FFT 法で解析することに、その適用の是非が問われるであろう。視察で定常性が確認できないが明らかに非定常であるとも確認できない区画に FFT 法を適用し解析することは、確率的には誤っていることは否定できない。しかしながら、いくら視察でほぼ定常と判断した区画に FFT 法を適用したとしても、脳波信号は、もともと低定常過程の非定常現象である¹⁰⁾。手段としての利便性を考慮して、このような脳波にも FFT 法を用いて解析してみることは有効であると考えられる。

次に α 帯域の脳波の分布であるが、脳波検査を業務としている技師や脳波の研究者から周知の事実として、 α 波は後頭部優位に出現するとされ、これを疑う者は皆無であろう。しかし、 α 波は右後頭部で優位な者が多いという報告¹¹⁾は、脳波研究者らの間でも不確かなことであった。今回、我々の結果でも 24% の被験者で α 波が右後頭優位であることが示された。これは基礎律動のピーク周波数の振幅における左右差とも関係していることで、さらに多くの例数を解析していく必要があるだろう。

一方で、学生実習のデータを解析したことによって、データを収集する集団として偏りがあったことは、否めない事実である。一方で、脳波の成人型への完成は 20 歳で、その後、周波数、振幅等は 50 歳くらいまでほとんど変化がないとされている¹²⁾こともある。また、正常範囲の設定は、厳密に選んだ健康な人を何百人何千人と集めなければいけないような作業である。数分で記録できる心電図と異なり、脳波は電極の装着から測定終了までに、被検者は一時間程度拘束されることから、その記録例数を集めることは容易ではない。さらに、熟練した脳波検査技師の手による頭部形状の不整さも考慮した表面電極の装着ほど、正確なものとはなり得ないが、キャップ電極を使用することによって、学生実習でもある程度正確な電極装着が可能となる。実際、キャップ電極を使用している医療機関も増えてきていることから、従来の表面電極を用いた実習に加えて、キャップ電極を使用した実習も実施すべきである。

最後に、本研究と同様の解析は、デジタル脳波計を有している教育施設であれば十分可能であり、保管していた学生実習における大量の脳波データを有効に活用する

ことができる。多くの教育施設が協同して同様の解析を実施することで、より厳密な脳波の正常基準を作成することができると考え、本研究を報告した。

引用文献

- 1) Berger, H. (1929): Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Arch Psychiat Nervenkr, 87, 527.
- 2) Hill, D. (1952): EEG in episodic psychotic and psychopathic personalities. J. Neurol. Psychiat, 4, 419-442.
- 3) 佐藤時治郎 (1961): 非定型精神病の臨床脳波学的研究. 精神医学, 3, 977-992.
- 4) 末永和栄, 岡田保紀 (1998): 脳波の読み方, 脳波標準テキスト, 末永和栄, pp.25-100, NEC メディカルシステムズ研修所
- 5) 大熊輝雄 (1983): 異常脳波, 臨床脳波学, 大熊輝雄, pp.111-134, 医学書院
- 6) Aso, K., Scher, M. S., Barmada, M. (1989): Neonatal electroencephalography and neuropathology. J. Clin. Neurophysiol, 6, 103-123.
- 7) Suhara, K., Suzuki, H., Samesima, M., et al. (1973): An attempt of tridimensional display concerning the correlation among multichannel EEG. Digest of 10th International Conference on Med. & Biol. Eng. 365.
- 8) 斉藤陽一, 吉川昭, 築島謙次 (1975): FFTによる脳波解析 (1), (2), 東京大学医学部情報処理室報告書, 51-60.
- 9) Adams, A. (1959): Study on the flat electroencephalogram in man EEG. Clin. Neurophysiol, 11, 35-41.
- 10) 井上健 (1986): 脳波のパワースペクトル (II) - 確率過程, 定常性, エルゴート性 -, 臨床脳波, 28, 720-726
- 11) Calin, D., Ellis R. R. (1975): Asymmetry in evoked potentials as an index of lateralized cognitive processes in relation to EEG alpha asymmetry. Neuropsychobiology, 13, 45-50.
- 12) 岡村法宜 (2001): 精神活動と脳波- α 波と Fm θ について -, 愛媛県立医療技術短期大学紀要, 14, 1-8.

ブ電極の使用によって、学生実習においても再現性のよい電極配置が可能となった。キャップ電極を使用して記録された34名の健康な男女短期大学生の脳波を解析した。基礎律動の左右差は周波数が3.0%、振幅が12.2%であった。また、周波数の標準偏差は小さく、振幅の標準偏差は大きかった。これらの結果から、周波数の正常範囲は既存の基準より小さく、振幅の正常範囲はより大きくすることが望ましいと考えられた。

要 旨

本研究は、A短期大学学生実習で記録された脳波とデジタル脳波計に標準で付属している解析機能を使用して、基礎律動の正常範囲について再考したものである。従来の表面電極を使用した学生実習では、電極配置のばらつきが大きかったが、A短期大学で平成14年より導入したキャッ