

脳波を指標とした大脳半球機能差のウルトラディアン・リズム

林 光緒・堀 忠雄

広島大学総合科学部人間行動研究講座
(1988年10月31日受理)

Ultradian rhythms in interhemispheric EEG activities

Mitsuo HAYASHI and Tadao HORI

Abstract

Ultradian variations of interhemispheric activities were studied on 8 right-handed male subjects. Parietal EEG (P_3, P_4) was recorded every 30 min for 1-min duration from 08:00 to 19:00 in eyes closed rest periods. EEG laterality index scores (LISs) were calculated from the amplitude (square root of power) of alpha (8-13 Hz). LISs showed significant periodicities in all subjects, indicating EEG asymmetries fluctuate with time. Moreover, the periods and acrophases of the observed ultradian variations were different among the subjects. The relationships between the EEG asymmetry and the cognitive functions were discussed.

これまで大脳半球機能差の研究の中で、その測定指標としてしばしば脳波が用いられてきた。閉眼安静中の脳波に顕著にみられる α 波は、精神作業中に抑制(α -blocking)されることから、精神作業中の α 帯域の脳波振幅は、言語的処理では左半球が、空間的処理では右半球の振幅が減衰することが考えられる(Glass, Butler & Carter, 1984; Grabow, Aronson, Greene & Offord, 1979; 堀, 1983; 堀・杉本, 1984; 堀・林・杉本, 1988; Morgan, Macdonald & Hilgard, 1974)。

しかし、これまでのところ、 α 帯域の脳波振幅については、課題の違いによる半球機能差が認められたという報告(Beaumont, Mayes & Rugg, 1978; Doyle, Ornstein & Galin, 1974; Morgan, et al., 1974; Rebert & Low, 1978)と、認められなかったという報告(Gevins, Zeitlin, Doyle, Yingling, Schaffer, Callaway & Yeager, 1979; Glass, et al., 1984; Grabow, et al., 1979; 苧坂, 1983)があり、必ずしも一致した知見は得られていない。

一方、Kleitman (1963) は、ヒトには24時間を通して90分の活動-休止周期が存在するという基礎休息活動周期(BRAC)仮説を提唱している。これまで様々な生理的、心理学的機能にウルトラディアン変動が観察されてきた(Lavie, 1982)。これに対してBroughton (1975) は、睡眠脳波の振幅の左右差が周期的に交替することに注目して、昼夜を通して左右の半球がBRACに従って交互に賦活されるという大脳半球交替賦活仮説を提唱している。もしこの仮説が正しければ、従来の脳波を指標とした大脳半球機能差の研究では、測定時刻によって左右半球の賦活の程度が異なっていたことが考えられる。このことが、研究間にみられた矛盾の原因

の一つであると考えられることも可能である。

さて、前著（堀・林・杉本，1988）で我々は、被験者を48時間の社会的隔離環境下におき、閉眼安静中の脳波を定期的に測定した。その中で、脳波の左右差には約90分周期の交替リズムが存在することを観察し、Broughtonの仮説を支持する結果を得た。そこで今回は、社会的隔離の影響を少なくした条件下で閉眼安静中の脳波の α 帯域の左右差の時間変動特性を調べ、Broughtonの仮説を支持するウルトラディアンリズムが認められるかどうかを検討し、あわせて従来的大脑半球機能差の研究にみられた矛盾について検討を加えた。

方 法

被験者には日常7～8時間の睡眠をとると報告した男子大学生8名（20～22歳）を用いた。この中には、昼寝の習慣がある者、薬物を使用している者、また、閉眼安静時脳波が poor α 型の者（ $\% \alpha < 10$; Johnson, Lubin, Naitoh, Nute & Austin, 1969）は除外した。また、全員が右利きであった。

実験手続き、および脳波の記録方法は、前著（林・堀・杉本，1987）と同じであるので詳細は省く。実験前夜に脳波、眼球運動、および筋電図測定用の電極を装着した後、23:00から翌日の07:00まで、空調・防音シールド室で被験者に睡眠をとらせた。洗面、朝食後、08:00から19:00まで30分毎に眠気尺度（KSS: 石原・齋藤・宮田，1982）の評定と、入眠潜時（MSLT: Carskadon & Dement, 1979）の測定を行った。この入眠潜時の測定は、最大15分間続けられた。また、12:00には昼食をとらせた。

感覚遮断や社会的隔離の影響を最小にするため、毎回のMSLTの測定後、次回の測定時までは防音室のドアを開放した。この時間内に被験者は読書やテレビ、間食など、自由に過ごすことができた。

脳波分析には三栄製シグナルプロセッサ7T07A型を用い、MSLT開始直後の約1分間の閉眼安静時の脳波を、 P_3 、 P_4 部位を対象としてパワスペクトル分析した。サンプリング間隔10 msecで10.24 sec間をA/D変動した後、高速フーリエ変換（FFT）してパワスペクトルを得た。これを6回単純加算平均してパワスペクトルの平滑化を行い、61.44 sec区間の平均パワーを得た。この時の周波数分解能は.098 Hzであった。スペクトル・データは、 α 帯域（7.5～13.5 Hz）のパワーを帯域内で積分した後、振幅単位（ μV unit）に変換した。得られた合計振幅値から、 P_3 、 P_4 部位間の α 帯域の左右差指数 $[(P_3 - P_4) / (P_3 + P_4)]$ を求めた。

周期分析には、得られた時系列との適合度が最も高いコサイン曲線を、最小自乗法により決定する最小自乗スペクトル法（佐々木，1978）を用いた。この方法の最大の利点は、観測値が等間隔でなくてもよいという点にある。したがって、今回の昼食休憩による欠損値を補完することが可能である。この分析法により、時間変動の優勢周期性成分を同定した。得られた周期性成分とデータとの適合度をみるためにピアソンの相関係数を計算し、その有意性をt検定を用いて検定した。

結 果

Fig.1は、被験者8名全員の左右差指数 $[(P_3 - P_4) / (P_3 + P_4)]$ の時間的推移を示したものである。その得点は+1から-1まで分布している。左右半球の脳波の振幅が等しければ得点は0となり、左半球（ P_3 ）の振幅が高いと正の値、右半球（ P_4 ）の振幅が高いと負の値となる。

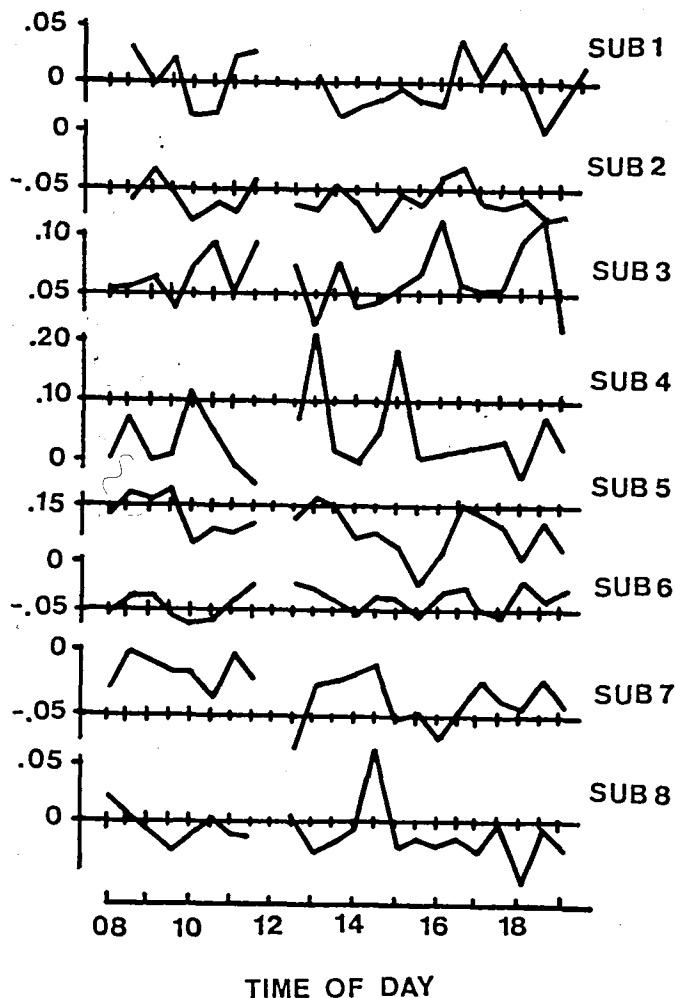


Fig.1. Temporal variations of the laterality index scores in all subject.

閉眼安静中の α 波は、精神作業中に抑制されることから、左右の半球で振幅の低い方がより活性しているとみなすことができる。したがって、ここで求めた左右差指数が正の値をとれば右半球活性、負の値をとれば左半球活性と考えることができる。Fig.1を見ると、いずれの被験者においても、左右差指数は時刻によって変動していることがわかる。また、この図から、左右差指数が常に正の値をとる右半球活性を示す者 (Sub.3,5)、常に負の値をとる左半球活性を示す者 (Sub.2,6,7)、正負どちらの値をもとり、時刻によって活性半球が異なる者 (Sub.1,4,8)、の3つのタイプの被験者が存在することがわかる。

次に、各々の被験者の左右差指数の時間変動曲線に対して、最小自乗スペクトル法による周期分析を行った。Fig.2は、Fig.1に示された被験者のうちの1名 (Sub.5) の左右差指数の時間変動曲線と、最小自乗スペクトル法によって得られた最も優勢な周期を示すコサイン波を示している。このコサイン波の周期は247.5分であった。原データとの適合度を相関係数で表すと.702となり、これは0.1%水準で有意であった。このようにして得られた周期分析の結果を全被験者についてまとめたのがTable 1である。Periodは得られたコサイン波の周期を分

単位で示したもので、 r はコサイン波と原データとの適合度を示している。Acrophase と Amplitude は、得られたコサイン波の頂点位相と振幅を示している。各々の被験者の左右差指数の時間変動曲線と、得られたコサイン波との適合度は .446~.702 の範囲にあり、全ての被験者において有意な周期性が存在することが明らかにされた。しかし、得られた周期は 90 分よりも長い "slow ultradian rhythm" (Lavie, 1985) を示した。Sub.3,4,6,8 の 4 名の被験者では約 2 時間の周期性が認められ、これは従来のウルトラディアン・リズムの研究で報告されてきた 90 分周期に近いが、Sub.1,2,5 ではその倍の約 4 時間の周期性が認められた。また、Sub.7 では約 2 時間半の周期性が認められた。このように、個人によって検出された周期性は異なっていた。

一方、得られたコサイン波の頂点位相は、-.070~-5.07 まで分布していた。これを角度

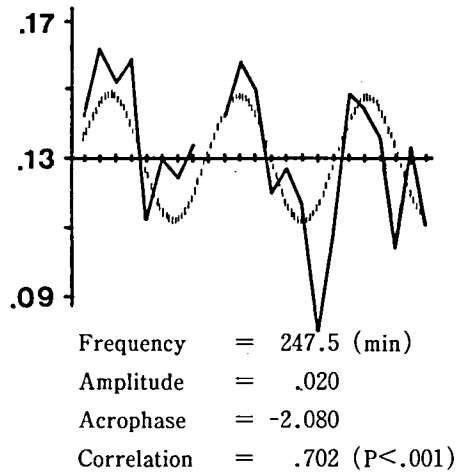


Fig.2. An example of temporal variation of the laterality index scores and a most fitted cosine wave calculated by the least square spectrum method.

Table 1. Predominant ultradian periodicities in min/cycle (Period) of laterality index scores, correlation coefficients (r) between the data and the fitted cosine waves, and acrophases and amplitudes of the waves

SUB	Period (min)	r	Acrophase (1)	Amplitude (2)
1	262.5	.548**	-2.07	.019
2	240.0	.616**	-0.70	.012
3	120.0	.446*	-1.80	.017
4	135.0	.528**	-1.92	.045
5	247.5	.702***	-2.08	.020
6	112.5	.536**	-5.07	.009
7	165.0	.512*	-2.53	.015
8	127.5	.462*	-1.95	.013
mean	176.3		-2.27	.019
SD	59.2		1.17	.011

* P < 0.05

** P < 0.01

*** P < 0.001

(1) $-2\pi \leq$ Acrophase ≤ 0

(2) $-1.0 \leq$ Amplitude ≤ 1.0

に変換すると、 -40.1° ～ -290.5° まで分布していることになり、最大値と最小値とでは約 250° の位相差があることになる。以上のように、周期性だけでなく、その位相にも個人差があることがわかったが、いずれの被験者においても脳波の α 帯域の左右差の変動には、一定の周期性があることが明らかにされた。

考 察

これまで大脳半球機能差の研究のなかで、 α 帯域の脳波振幅の左右差は、課題の差による認知機能の左右差を反映したものであると考えられてきた (Ehrlichman & Wiener, 1980; Gevins, et al., 1979; Glass, 1984; 堀, 1983; 堀・杉本, 1984)。しかし、すべての研究で課題中の α 帯域の脳波振幅に左右差が認められたわけではない。左右差がみられなかった理由として、芋坂 (1983) は、課題の困難さの効果が大きすぎたためであると述べ、また Glass, et al. (1984) は、従来の報告では性差や利き手の差異が十分に配慮されていなかったという点をあげている。Beaumont & Rugg (1979) は、課題の困難度、刺激の提示方法、被験者の反応様式が充分制御されていなかったために、被験者が個人毎に異なった認知方略を用いていた可能性があるとして述べている。その他の点として Glass (1984) は、これまでの様々な研究結果を引用して、課題によって刺激の処理時間や用いられた課題の性質が異なっていたり、また実験時の被験者の覚醒水準が異なっていたことなどの点についてもあげている。

一方、Gevins, et al. (1979) は、従来の研究では課題の刺激特性や課題遂行中の手や眼球の運動などの要因が統制されていないという点をあげて、左右差が認められた研究において言語・空間課題間にみられた脳波の左右差は、必ずしも半球間の認知の差を反映したものであると述べている。Gevins, et al. の説に対して、Ehrlichman & Wiener (1980) は反論を唱えているが、彼らは言語課題に比べて空間課題は半球機能差が脳波に現れにくいことを報告しており、必ずしも明確な左右差をみだしているわけではない。空間課題の効果が現れにくいことについては、堀 (1983)、堀・杉本 (1984) も同様の結果を得ている。

いずれにせよ、脳波に左右差が認められなかった原因については、課題そのものの特性や被験者に関する要因のみが重視されてきた。それに対して、左右差が時間によって変動するという点について報告した研究は非常に少ない。しかし、今回の結果から、左右差は周期的に変動することが明らかにされた。このことは、測定する時刻によって左右差の現れやすい場合と、現れにくい場合が存在することを示唆している。また、今回の結果では、この変動周期には個人差がみられ、その位相も被験者によって異なっていた。このことは、得られた時系列曲線を単純平均しても、その平均値は代表値としての意味をなさないことを示している。このように、左右差には個人差があるばかりでなく、個人内でも変動することがわかった。このことは、従来の脳波を指標とした大脳半球機能差の研究にみられた矛盾の要因の1つであると考えられることができよう。

一方、Broughton (1975) が仮定した、大脳半球交替賦活仮説については、これを支持する報告と、支持しない報告があり、現在のところ、証明されるには至っていない。Klein & Armitage (1979) は、言語・空間課題の成績が90～100分の周期で交替するという結果を得、Broughton の仮説を行動学的に支持している。これに対して、Kripke, Fleck, Mullaney & Levy (1983) は、Klein & Armitage の研究を追試し、行動にウルトラディアン・リズムが存在することに対して否定的な立場をとっている。しかし、彼らは毎回の課題終了後、被験者に報酬を与え、動機づけを高める操作を行っている。断眠中の被験者の動機づけを高めると課題成績が

低下しない (Johnson, 1982) ことから考えると、動機づけを高めたことがウルトラディアン・リズムを消してしまった可能性は否定できない。ウルトラディアン・リズムに関する研究の中で、被験者の動機づけについて検討したものはほとんどなく、今後の研究が待たれる。

他方、脳波学的な研究においては、Manseau & Broughton (1984) が、脳波の変動には 90 分周期が認められたが、半球間には位相差が認められなかったことを報告している。著者ら (堀・林・杉本, 1988) も、彼らと同様の結果を得ている。これらの結果は、半球間でウルトラディアン変動が 180° の位相差を示すという Broughton の仮説とは一致しない。しかし、著者らは、さらに半球間のコヒーレンス、左右差指数にも約 90 分の周期性が存在するという結果を得た。このことは、半球間の振幅を調節する機構が BRAC (Kleitman, 1963) によって調節されている可能性を示唆しており、Broughton の仮説を支持している。すなわち、これらの結果は、Broughton が仮説したような、左右半球を交互に賦活させる機構が存在するというよりも、むしろ半球間で振幅差を調整し、優位半球を周期的に交替させる機構が存在することを示唆している。今回の結果においても、左右差には周期的な変動が認められ、半球間で振幅差を調節する機構が存在する可能性を示唆している。

しかし、今回観察された左右差の周期は、Broughton が仮定した 90 分の交替周期よりも長い。被験者 8 名中、4 名は従来の BRAC の周期に近似した 120 分前後の周期性を示したが、他の被験者ではこれよりも周期が長い "slow ultradian rhythm" (Lavie, 1985) を示した。脳波活動に 3 ~ 4 時間の周期変動が存在することは、Kripke & Sonnenschein (1978), Manseau & Broughton (1984), 林・堀・杉本 (1987), 辻・小林・遠藤 (1986), Hori (1988) からも認められている。辻ら (1986) は、脳波活動にみられる約 90 分の周期と、この 3 ~ 4 時間の周期の 2 つの周期成分には質的な相違があることを指摘している。しかし、今回の結果からは、120 分前後の周期性を示した被験者と、4 時間前後の周期性を示した被験者との間で、 α 帯域の左右差の周期変動に質的な差異が存在するかどうかについては、明らかではない。

ところで、社会的隔離条件下で脳波の左右差をみた前著 (堀・林・杉本, 1988) では、左右差に約 90 分の周期が存在することを観察した。この結果は今回の結果とは必ずしも一致していない。Kripke & Sonnenschein (1978) は、日常場面と社会的隔離場面とでウルトラディアン・リズムの出現様式を比較し、日常場面よりも隔離環境下の方が 90 分のウルトラディアン・リズムが出現しやすいことを報告している。このことから考えると、前著で得られた左右差の約 90 分の周期と今回得られた 3 ~ 4 時間の周期との間には、辻らが述べたような質的な差異が存在するというよりもむしろ、被験者を日常場面におくことが左右差の変動周期を延長させる効果をもつことを示唆していると思われる。

以上のように、個人間で周期や位相は異なるものの、脳波の左右差には周期的変動が存在することが明らかにされた。したがって、脳波を用いた大脳半球機能差の研究を行うにあたっては、課題内容や被験者の要因を統制するだけでなく、測定する時刻や、測定時間、個人内変動に関して十分注意することが必要であると考えられる。

尚、本研究の一部は、文部省科学研究費 (一般研究 C 研究課題番号 62510057 代表者 堀忠雄) の援助を得て実施された。

引用文献

Beaumont, J.G., Mayes, A.R., & Rugg, M.D. 1978 Asymmetry in EEG alpha coherence and pow-

- er : Effects of task and sex. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 45 : 393-401.
- Beaumont, J.G., & Rugg, M.D. 1979 The specificity of intrahemispheric EEG alpha coherence asymmetry related to psychological task. *Biological Psychology*, 9 : 237-248.
- Broughton, R.J. 1975 Biorhythmic variations in consciousness and psychological functions. *Canadian Psychological Review*, 16 : 217-239.
- Carskadon, M.A., & Dement, W.C. 1979 Effects of total sleep loss on sleep tendency. *Perceptual and Motor Skills*, 48 : 495-506.
- Doyle, J.C., Ornstein, R., & Galin, D. 1974 Lateral specialization of cognitive mode: II. EEG frequency analysis. *Psychophysiology*, 11 : 567-578.
- Ehrlichman, H., & Wiener, M.S. 1980 EEG asymmetry during covert mental activity. *Psychophysiology*, 17 : 228-235.
- Gevins, A.S., Zeitlin, G.M., Doyle, J.C., Yingling, C.D., Schaffer, R.E., Callaway, E., & Yeager, C.L. 1979 Electroencephalogram correlates of higher cortical functions. *Science*, 203: 665-668.
- Glass, A. 1984 Cognitive and EEG asymmetry. *Biological Psychology*, 19 : 213-217.
- Glass, A., Butler, S.R., & Carter, J.C. 1984 Hemispheric asymmetry of EEG alpha activation: Effects of gender and familial handedness. *Biological Psychology*, 19 : 169-187.
- Grabow, J.D., Aronson, A.E., Greene, K.L., & Offord, K.P. 1979 A comparison of EEG activity in the left and right cerebral hemispheres by power-spectrum analysis during language and non-language tasks. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 47 : 460-472.
- 林 光緒・堀 忠雄・杉本助男 1987 日中の眠気におけるウルトラディアン・リズムの検討. *生理心理学と精神生理学*, 5 : 21-28.
- 堀 忠雄 1983 スペクトル分析法によるイメージ課題遂行時の脳波ラテラリティの検討. *中国四国心理学会論文集*, 16 : 10.
- Hori, T. 1988 Ultradian rhythms of interhemispheric activity during waking and sleeping. *The Japanese Journal of Psychiatry and Neurology*, 41 : 181-183.
- 堀 忠雄・杉本助男 1984 脳波と大脳半球機能差, 半球内コヒーレンス・スペクトルの検討. *中国四国心理学会論文集*, 17 : 9.
- 堀 忠雄・林 光緒・杉本助男 1988 覚醒脳波の半球差とウルトラディアン変動. *脳波と筋電図*, 16 : 328-335.
- 石原金由・齋藤 敬・宮田 洋 1982 眠けの尺度とその実験的検討. *心理学研究*, 52 : 362-365.
- Johnson, L.C. 1982 Sleep deprivation and performance. In: Webb, W.B. (ed.) *Biological Rhythms, Sleep and Performance*. John Wiley & Sons, 111-141.
- Johnson, L., Lubin, A., Naitoh, P., Nute, C., & Austin, M. 1969 Spectral analysis of the EEG of dominant and non-dominant alpha subjects during waking and sleeping. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 26 : 361-370.
- Klein, R., & Armitage, R. 1979 Rhythms in human performance: 1 1/2 hour oscillations in cognitive style. *Science*, 204 : 1326-1328.
- Kleitman, N. 1963 *Sleep and Wakefulness*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Kripke, D.F., Fleck, P.A., Mullaney, D.J., & Levy, M.L. 1983 Behavioral analogs of the REM-non-REM cycle. *Advances in Biological Psychiatry*, 11 : 72-79.

- Kripke, D.F., & Sonnenschein, D. 1978 A biologic rhythm in waking fantasy. In: Pope, K.S., & Singer, J.L.(eds.) *The Stream of Consciousness*. Plenum, New York, 321-332.
- Lavie, P. 1982 Ultradian rhythms in human sleep and wakefulness. In: Webb, W.B.(ed.) *Biological Rhythms, Sleep and Performance*. John Wiley & Sons, 239-272.
- Lavie, P. 1985 Ultradian rhythms: Gates of sleep and wakefulness. In: Schultz, H., & Lavie, P.(eds.) *Ultradian Rhythms in Physiology and Behavior*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 148-164.
- Manseau, C., & Broughton, R.J. 1984 Bilateral synchronous ultradian EEG rhythms in awake adult humans. *Psychophysiology*, 21 : 265-273.
- Morgan, A.H., Macdonald, H., & Hilgard, E.R. 1974 EEG alpha: Lateral asymmetry related to task, and hypnotizability. *Psychophysiology*, 11 : 275-282.
- 苧坂満里子 1983 精神作業と α 波ピーク周波数の関連. task difficulty の効果について. 脳波と筋電図, 11 : 248-254.
- Rebert, C.S., & Low, D.W. 1978 Differential hemispheric activation during complex visuomotor performance. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 44 : 724-734.
- 佐々木隆 1978 周期成分の探索. 佐々木隆・千葉喜彦(編) 時間生物学. 朝倉書店, 312-332.
- 辻 陽一・小林敏孝・遠藤四郎 1986 主成分分析法による覚醒時脳波のウルトラディアン・リズムの構造解析. 脳波と筋電図, 14 : 166-175.