

## イヌの臨床脳波に関する基礎的研究

### I. 表面脳波 (EEG) 及び皮質脳波 (ECoG)

鈴木 實\*・豊澤敬一郎\*・七條喜一郎\*

館崎良太\*・松本 博\*・吉田 勝\*

昭和59年7月31日受付

## Fundamental Studies on Clinical Electroencephalography of Dogs

### I. Electroencephalogram (EEG) and Electrocorticogram (ECoG)

Minoru SUZUKI\*, Keiichiro TOYOSAWA\*, Kiitiro SITIZYO\*

Ryota TATEZAKI\*, Hiroshi MATSUMOTO\* and Masaru YOSHIDA\*

The objectives in this experiment were to establish the electroencephalographic criteria for clinical veterinary medicine.

A study of electroencephalograph(EEG) and electrocorticograph(ECoG) of clinically normal and anesthetized dogs was made to obtain control data for reference in diagnostic studies. About 45 mongrel adult dogs of both sexes were used in these experiments. They ranged from 6.5 to 17.0 kg in weight. The bipolar lead EEG and ECoG were recorded for 60 minutes or more from the various electrode pairs on an 18-channel recorder.

The average frequencies of the EEG in unanesthetized dogs were from 19 to 23 Hz, with average voltages were from 12 to 14  $\mu$ v. The average frequencies of the ECoG in unanesthetized dogs were from 18 to 23 Hz, with average voltages were from 36 to 51  $\mu$ v.

The average frequencies of the EEG in pentobarbiturate anesthetized dogs were from 5 to 7 Hz, with average voltages were from 20 to 36  $\mu$ v. The average frequencies of the ECoG in anesthetized dogs were from 7 to 8 Hz, with average voltages were from 100 to 150  $\mu$ v.

Both the EEG and ECoG were relatively stable for a least 60 minutes during anesthesia. In comparison with the patterns of the EEG and ECoG in unanesthetized dogs, barbiturate anesthesia caused a decrease in frequency but great increase in amplitude with slower waves and sharp elements or faster components.

---

\* 鳥取大学農学部獣医学科家畜生理学研究室

Department of Veterinary Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

## 緒 言

わが国におけるイヌの脳波研究に関しては、医学領域の動物実験の一環として報告されたものが多い。特に、その大多数は、植え込み電極を用いた皮質脳波 (electrocorticogram, ECoG)あるいは深部脳波 (depth electroencephalogram, depth EEG)に関する報告である。

イヌをはじめとする多くの種類の家畜動物では、安静時の表面脳波 (electroencephalogram, EEG) を記録することは、十分に訓練された動物でない限り、かなりの困難を伴う。そのため、実験的 ECoG あるいは depth EEG に関する研究の進展は著しいが、臨床的 EEG の研究は ECoG の研究に比べて、未解明の分野が多く残されている。

一方、欧米諸外国においては、脳波の臨床的应用に關する報告も多くみられる<sup>1,2,4,6,8-12,15,18</sup>。しかしながら、これらの報告の EEG 導出・記録方法が標準化されていないため、電極の種類、電極位置、動物拘束方法などが、研究者によって異なっている。

例えば、Herin et al.<sup>4)</sup>は pin-type の皮下電極、Redding<sup>15)</sup>はワニグチクリップ電極を用いて、EEG の導出を行っている。また、電極の装着位置あるいは導出方法、供試動物の拘束法なども様々でない。Redding<sup>15)</sup>は頭皮上 5 電極からの双極導出 8 channel の記録を、Klemm<sup>8)</sup>は頭皮上 8 電極からの双極導出並びにこれら 8 電極と基準電極 (reference electrode) との単極導出を行った。動物の拘束法についても、Klemm<sup>8)</sup>は麻酔下での記録を、Herin et al.<sup>4)</sup>は筋弛緩薬投与による記録を、Redding<sup>15)</sup>は無処置での記録を、それぞれ勧めている。

上述したように、イヌ EEG の記録に関しては、電極の種類、電極位置、動物拘束方法などが一定していない。それ故、EEG を臨床的に応用するためには、導出、記録、分析方法などの、基礎的な問題から検討する必要がある。

これらのことから、本実験においては、イヌの EEG と ECoG との同時記録または、単独記録を行い、頭皮上から導出される脳波 (EEG) が、皮質の電気活動 (ECoG) を十分に反映しているか否かについて検討した。

## 実験方法

## 実験動物及び導出方法

実験には、体重 6.5~17.0kg の雑種成犬 45 頭を、雌雄の別なく供試した。EEG 及び ECoG 導出に際しては、すべて腹臥位に保定して行った。

EEG の記録電極は、ワニグチクリップを用いた。電極

装着部位を十分に剪毛した後、エーテルで皮膚を清拭し、0.5% lidocaine hydrochloride (藤沢薬品 Xylocaine) を皮下注射した。薬液が皮下に浸潤した後、さらに電極装着部位直下の側頭筋にも Xylocaine を注射した。局所麻酔が十分に得られた後、電極用ペースト (飽和食塩水と Bentnite で調合) を、各電極装着部位の皮膚に塗布し、電極を装着した。

ECoG の記録電極は、直径約 1 mm の銀球を、各電極位置の頭蓋骨内に植え込み、歯科用セメント (carboxylate cement, 三金工業 Sankin Carlon) で固定した。この場合の植え込み電極は、穿孔した頭蓋骨を通して、直接、脳硬膜に接触するように固定されている。銀球電極の植え込み終了後、直ちに ECoG を記録し、電極と脳硬膜との接触状態を確かめたうえで、側頭筋及び頭皮をそれぞれ縫合した。縫合に際して、電極の各導線の断端部が互いに接触しないように留意して一束にまとめ、縫合部から外部に露出させて、以降の ECoG 導出に備えた。このようにして電極の植え込みを完了した後、Benzyl penicillin potassium (萬有製薬, Crystalline Potassium Penicillin "Banyu") を、筋肉内に注射した。注射は、1 回宛 25~50 万単位とし、手術部の治癒の状態によって、追加投与を行った。

電極装着位置と頭皮、頭蓋及び脳皮質との位置関係は、Fig. 1 に示した。すなわち、探査電極 (different electrode) は、左右前頭部領域 (LF, RF)、左右後頭部領域 (LO, RO) 及び頭頂部 (V) の計 5 点に置いた。このような電極装着位置並びに電極数は、Redding<sup>15)</sup>の電極配置に準拠した。

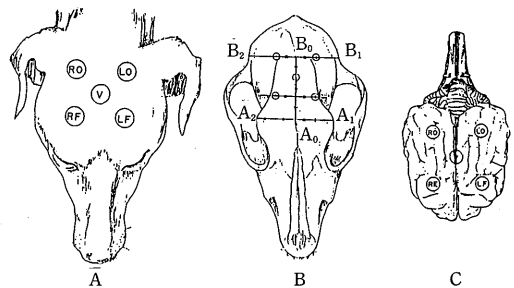


Fig. 1 Position of the electrodes with respect to the scalp, the skull and the brain  
A : The scalp. B : The skull.  
C : The brain.

脳波の導出は、EEG, ECoG とともに探査電極 5 点相互

の組み合わせによる双極導出 8 channel の記録を行った。EEG 及び ECoG 導出時の各電極の組み合わせを Fig.2 に示した。すなわち、双極導出 8 channel は、大脳の前後左右の 4 領域と頭頂間の導出 (LO-V, RO-V, LF-V, RF-V), 左及び右半球間の導出 (LO-LF, RO-RF) 並びに後頭部及び前頭部の左右半球間の導出 (LO-RO, LF-RF) とした。

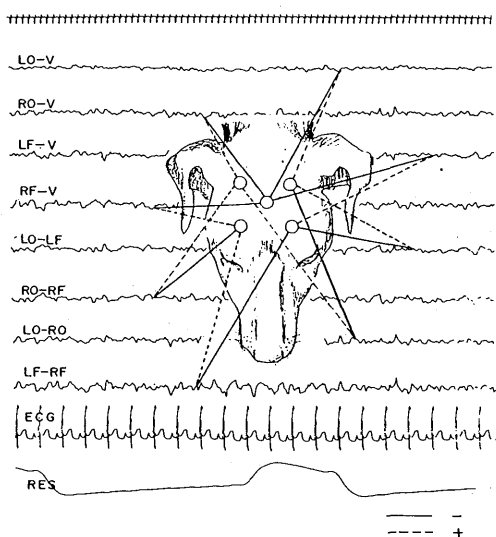


Fig. 2 Relationship of electrode connections to the electroencephalographic recording.

電極と脳波計の各素子の入力端子は、次のように短絡した。すなわち、電極 V が関与する双極導出では、V を Grid 1 ( $G_1$ ) へ、その他の電極を Grid 2 ( $G_2$ ) へ入力した。脳半球内の導出では、前方の電極 (LF, RF) を  $G_1$  へ、後方の電極 (LO, RO) を  $G_2$  へ入力し、脳半球間の導出では、左半球の電極 (LF, LO) を  $G_1$  へ、右半球の電極 (RF, RO) を  $G_2$  へ入力した。

脳波の記録は、脳波計 (三栄測器 1A52 型) を用いて行った。被検動物は、遮閉室 (shield room) 内に置き、EEG または ECoG の記録のほか、心電図 (ECG) 及び呼吸曲線 (RES) をも同時記録した。心電図の導出電極はミノムクリップを使用し、A-B 誘導で行った。呼吸曲線は、胸囲型トランスジューサを用い、吸息が上向きの曲線となるように記録した。

脳波計の紙送り速度は 30mm/sec とし、EEG 及び ECoG は時定数 0.3sec、心電図及び呼吸曲線は時定数 1.5sec で記録した。EEG の較正電圧は 50 $\mu$ V を 5mm に一定したが、

ECoG では、出現波形の大きさによって、較正 level を適宜変更して記録した。

麻酔時 EEG 及び ECoG の実験犬には、Sodium pentobarbital (大日本製薬, Nembutal) を体重 1kg 当たり 25-30mg 伏在静脈に注射し、注射終了後 1 分、2 分、5 分、10 分、15 分、30 分及び 60 分について、経時的に導出記録した。なお、麻酔実験に先立って、覚醒時の EEG 及び ECoG を必ず記録した。

#### 波形分析方法

記録した EEG 及び ECoG は、周波数、振幅及び周波数成分比について、計測分析を行った。分析期間は、EEG、ECoG 及びそれらの覚醒時と麻酔時のすべての実験において、10 秒間とした。

周波数は、10 秒間に現われる電位変動数を測定し、その 1/10 を平均周波数とした。振幅は、10 秒間に現われる電位変動のうち最大及び最小の振幅 (peak-to-peak) で計測し、その平均値を平均振幅とした。

周波数成分比は、三栄測器製 EA-201 型脳波分析装置を使用して求めた。すなわち、5 段階の周波数帯域 (2-4Hz, 4-8Hz, 8-13Hz, 13-20Hz 及び 20-30Hz) について、2 channel を同時分析し、その積分値を、脳波記録紙上に記録した。周波数成分比 (%) は、次式によって算出した。

求める周波数帯域の成分比 (%) =

$$\frac{\text{求める周波数帯域の積分値の平方}}{5 \text{ 段階の周波数帯域の積分値の平方和}} \times 100$$

脳波分析装置の積分曲線によるこれらの分析は、覚醒時及び麻酔時の EEG、ECoG について行った。

#### 実験成績

##### 1. 覚醒時の EEG

イヌの覚醒時の EEG 記録は、ヒトの場合と異なって、脳波測定期間を通して安静状態を保ち、かつ、筋電図、体動などによる artifact の混入を防ぐことが難しい。特に、安静状態で体動のみられない時期に導出した EEG であっても、筋電図の混入がみられることもしばしばである。

本実験においては、双極導出 8 channel で比較的安定した EEG が、17 頭のイヌから導出記録することができた。Fig.3 にその 1 例を示したが、Fig.4 にみられるように、筋電図、呼吸運動、体動などによる artifact の混入する記録例も多かった。安定した記録例のうちの 7 例についての平均周波数、平均振幅及び標準偏差の計測値は Table 1 の通りである。

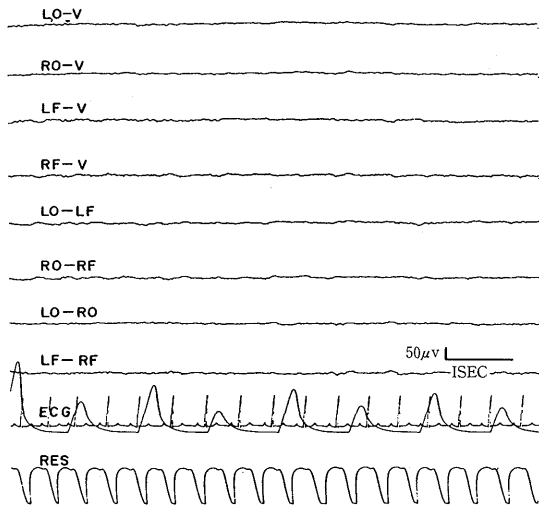


Fig. 3 Bipolar recording EEG of the unanesthetized dog.

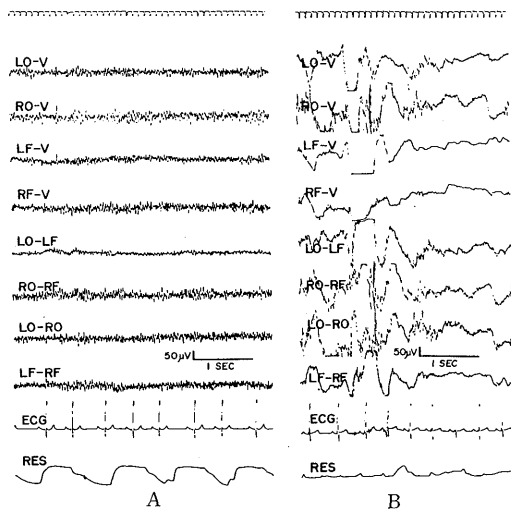


Fig. 4 Example of the artifacts in electroencephalographic recording from the unanesthetized dog.

A : Muscle potential artifacts.

B : Respiratory and body movement artifacts.

これらの成績によると、平均周波数の7例平均値では、約19~23Hz、平均振幅約12~14 $\mu$ Vの低振幅速波であった。また、周波数、振幅ともに、双極導出8 channelの値がほぼ等しく、左右脳半球間及び前頭後頭間での差異はみられなかった。EEG記録と同時に測定したイヌ7頭の

Table 1 Frequencies and voltages of EEG in unanesthetized dogs

Leads	Frequencies(Hz)	Voltages( $\mu$ v)
LO-V	19.8 $\pm$ 3.9	12.1 $\pm$ 2.6
RO-V	18.8 $\pm$ 2.5	12.8 $\pm$ 2.6
LF-V	21.9 $\pm$ 2.8	12.8 $\pm$ 2.6
RF-V	21.1 $\pm$ 3.0	12.8 $\pm$ 2.6
LO-RF	23.0 $\pm$ 3.7	13.5 $\pm$ 3.7
RO-RF	20.5 $\pm$ 2.5	12.1 $\pm$ 2.6
LO-RO	21.9 $\pm$ 3.2	12.8 $\pm$ 2.6
LF-RF	20.3 $\pm$ 3.0	14.2 $\pm$ 3.4
H.R	108 $\pm$ 21.1/min	Mean $\pm$ SD(n=7)
R.R	42 $\pm$ 41.8/min	

平均心拍数は約100/min.、平均呼吸数は約42/min.であった。

## 2. 麻酔時の EEG

麻酔時の EEG の記録は、Fig. 5 にその1例を示したように、覚醒時に比べて安定した導出記録が得られ、麻酔各期を通して徐波 pattern となり、かつ速波成分の重量がみられた。この実験では22例の EEG を導出し、そのうちの12例の波形の平均周波数、平均振幅及び周波数成分比を、麻酔前、麻酔後1, 2, 5, 10, 15, 30, 60分について計測した。

平均周波数12例の平均値は、麻酔前(覚醒時)約19~23 Hzであったものが、麻酔1分後から60分後まではほぼ一定しており、約5~7 Hzであった。平均振幅では個体差が大きく、12例中最高値のイヌと最低値のイヌでは、約3倍の差異がみられた。しかしながら、麻酔後60分までの経過は比較的安定しており、平均値では約20~36 $\mu$ Vの範囲であった。導出 channel の違いによる差異は、周波数、振幅ともにみられなかった(Fig. 6)。

周波数成分比は、後頭部導出(LO-RO)と前頭部導出(LF-RF)の2 channel について、麻酔後1分から60分まで分析したが、各周波数帯域ともに、それぞれほぼ安定した値であった。麻酔後60分における両導出の周波数成分比は Fig. 7 に示したように、2-4Hz 帯域が約50%、4-8Hz 帯域が約30%、8-13Hz 帯域が約10~15%、13-20 Hz 帯域が約6%、20-30Hz 帯域が約1%であり、大部分が2-8Hzの低周波数成分より成っていた。両導出間の周波数成分比における差異もみられなかった。

## 3. 電極植え込み手術終了時の ECoG

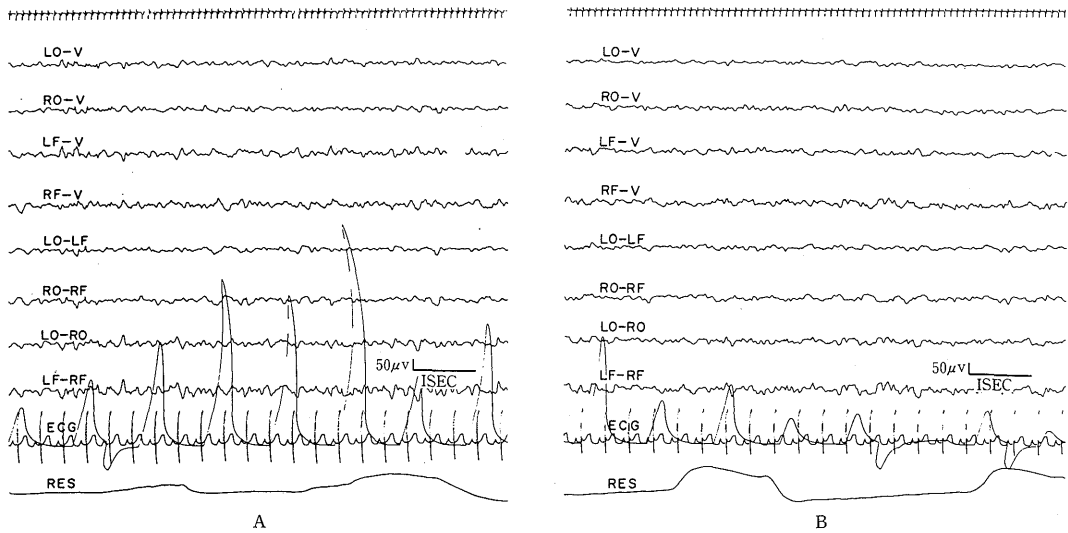


Fig. 5 Bipolar recording arrangement EEG during anesthesia in dog.  
A : 1 minute after anesthesia. B : 60 minutes after anesthesia.

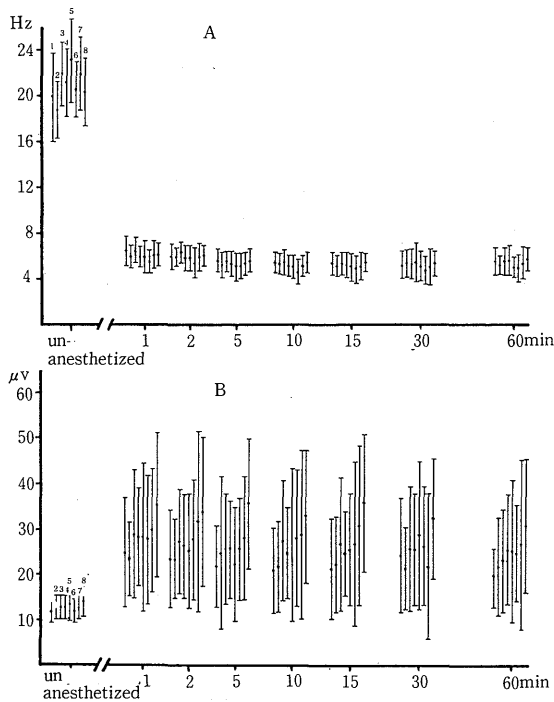


Fig. 6 Frequencies and voltages of bipolar recording EEG in anesthetized dogs.  
A : Frequencies. B : Voltages.  
1 : LO-V. 2 : RO-V. 3 : LF-V. 4 : RF-V. 5 : LO-LF. 6 : RO-RF. 7 : LO-RF. 8 : LF-RF

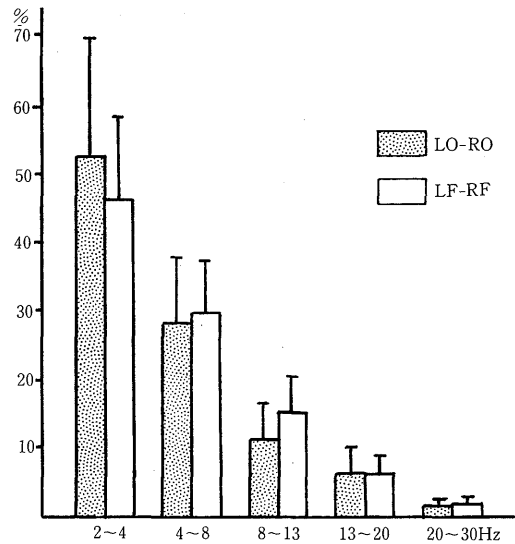
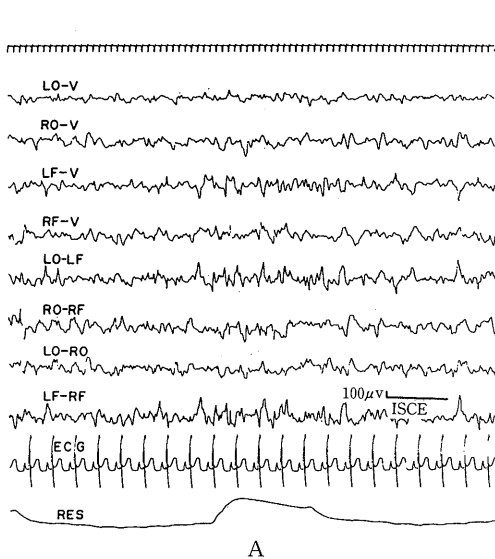


Fig. 7 Frequency component histograms of bipolar EEG at 60 minutes after anesthesia in dogs.

ECoG 導出記録のために、銀球電極の植え込み手術を行ったイヌのうち、16例で比較的安定した記録が得られた。これらの ECoG 記録の 6 例について、平均周波数及び平均振幅の平均値と標準偏差を Table 2 に、ECoG の 1 例を Fig. 8 に示した。

Table 2 Frequencies and voltages of ECoG in dogs immediately after implantation of electrodes

Leads	Frequencies(Hz)	Voltages( $\mu$ v)
LO-V	$7.3 \pm 1.0$ (3-15)	$154.1 \pm 36.9$
RO-V	$6.9 \pm 0.6$ (3-17)	$151.1 \pm 40.4$
LF-V	$7.9 \pm 0.6$ (3-18)	$183.8 \pm 65.6$
RF-V	$7.2 \pm 0.6$ (3-18)	$154.1 \pm 36.8$
LO-LF	$7.8 \pm 0.7$ (3-19)	$204.6 \pm 43.2$
RO-RF	$7.4 \pm 0.8$ (3-15)	$189.8 \pm 38.5$
LO-RO	$7.3 \pm 0.8$ (4-16)	$186.8 \pm 53.9$
LF-RF	$8.0 \pm 0.8$ (4-19)	$213.8 \pm 71.6$

H.R.  $192 \pm 49.3/\text{min}$  Mean  $\pm$  SD (n = 6)R.R.  $12 \pm 3.6/\text{min}$ 

## 4. 覚醒時の ECoG

銀球電極植え込みの手術創が完治したイヌについて、比較的安定した ECoG が得られた10例のうち、5例の平均周波数及び平均振幅の平均値と標準偏差を計測し、Table 3 に示した。すなわち、平均周波数の5例平均値は約18~23Hz、振幅の平均値は約36~51 $\mu$ V であり、いわゆる低振幅速波であった。また、周波数、振幅ともに、各導出 channel 間における差異はみられなかった。

周波数成分比は Fig. 9 に示したように、平均値、標準偏差とともに、2-4Hz 帯域、4-8Hz 帯域、13-20Hz 帯域及び20-30Hz 帯域で、各導出 channel の値は、ほぼ同様であった。しかし、8-13Hz 帯域の成分比のみは、ほかの周波数帯域に比べて、やや低い傾向がみられた。

## 5. 麻酔時の ECoG

麻酔後の ECoG は、1, 2, 5, 10, 15, 30及び60分後について導出記録したが、これらのすべての麻酔経過中の ECoG は、ほぼ同様の波形であった。Fig. 10 に1分

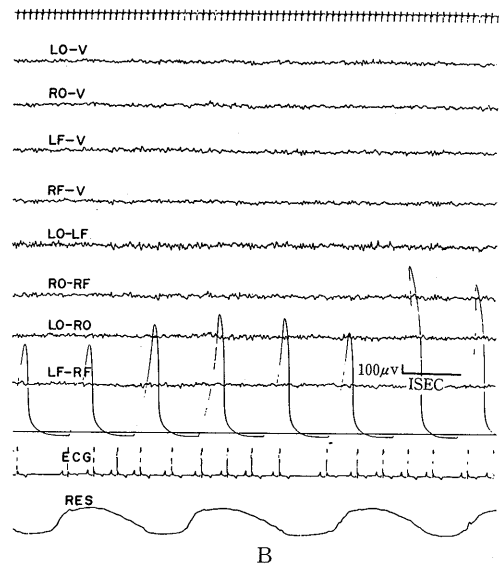


Fig.8 Bipolar recording ECoG of the unanesthetized dog.

A : Immediately after electrodes implantation. B : Recuperation from implantation.

植え込み手術終了時 ECoG の平均周波数の6例平均で約7-8Hz、振幅平均が約150~210 $\mu$ V であり、高振幅徐波であった。これら6例全例において、棘波の混在と約20Hz以上の重畳波がみられた。また、周波数及び振幅ともに、各導出 channel に大きな差異はみられなかった。

後及び60分後の ECoG を示したように、覚醒時の低振幅速波から、棘波を伴う高振幅徐波となった。導出記録した10例の ECoG のうち5例について、平均周波数及び平均振幅の平均値と標準偏差を計測し、Table 4 に麻酔後1分、10分及び60分値のみを表示した。実際の計測は、麻

Table 3 Frequencies and voltages of ECoG in unanesthetized dogs

Leads	Frequencies(Hz)	Voltages( $\mu$ v)
LO-V	22.4 $\pm$ 2.6	40.5 $\pm$ 5.7
RO-V	20.2 $\pm$ 3.0	41.6 $\pm$ 11.2
LF-V	22.1 $\pm$ 2.4	43.9 $\pm$ 8.7
RF-V	20.8 $\pm$ 2.7	38.9 $\pm$ 14.2
LO-LF	22.9 $\pm$ 1.9	51.4 $\pm$ 9.0
RO-RF	20.4 $\pm$ 3.5	41.4 $\pm$ 12.1
LO-RO	22.0 $\pm$ 2.7	46.4 $\pm$ 8.2
LF-RF	17.9 $\pm$ 1.6	35.5 $\pm$ 6.3

H.R. 118  $\pm$  17.6/min Mean $\pm$ SD (n=5)  
 R.R. 62  $\pm$  54.2/min

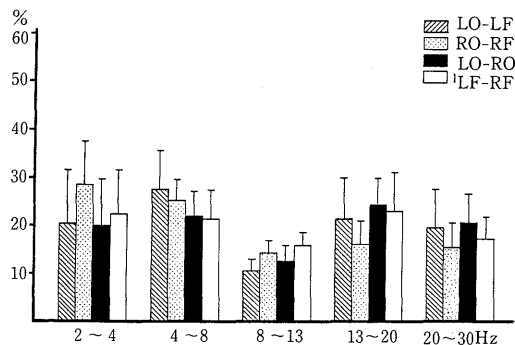


Fig. 9 Frequency component histograms of bipolar recording ECoG in unanesthetized dogs.

酔前, 1分後, 2, 5, 10, 15, 30, 60分後の8時相について行ったが, 麻酔1分後から60分までの間, 各時相の差異, 導出 channel 間の差異などは, 周波数, 振幅ともにみられなかった。すなわち, 麻酔前の平均周波数の平均値は約18~23Hzであったが, 麻酔1分後には約7

通して, 周波数約20Hz以上の重畳波が全例にみられた。

麻酔時 ECoG の周波数成分比については, 後頭部導出 (LO-RO), 前頭部導出 (LF-RF) の2 channel を Table 5に示した。表にみられるように, 麻酔後1分で両導出ともに, 12~20Hz 帯域及び20~30Hz 帯域が減少し, 4~8Hz

Table 4 Frequencies of ECoG in anesthetized dogs

Leads	Frequencies (Hz)				Voltages ( $\mu$ v)			
	ib	1	10	60 min	ib	1	10	60 min
LO-V	22.4 $\pm$ 2.6	7.5 $\pm$ 1.0 (4-15)	6.1 $\pm$ 0.9 (3-15)	6.1 $\pm$ 0.4 (3-13)	40.5 $\pm$ 5.7	103.1 $\pm$ 29.4	115.3 $\pm$ 38.8	131.7 $\pm$ 60.3
RO-V	20.2 $\pm$ 3.0	7.1 $\pm$ 1.3 (4-13)	6.0 $\pm$ 1.0 (3-14)	5.9 $\pm$ 0.7 (2-13)	41.6 $\pm$ 11.2	105.3 $\pm$ 33.7	98.1 $\pm$ 39.0	136.3 $\pm$ 76.6
LF-F	22.1 $\pm$ 2.4	7.5 $\pm$ 0.9 (4-16)	6.3 $\pm$ 0.7 (3-15)	6.1 $\pm$ 0.5 (3-14)	43.9 $\pm$ 8.7	132.1 $\pm$ 40.7	108.5 $\pm$ 36.0	122.0 $\pm$ 54.7
RF-V	20.8 $\pm$ 2.7	7.0 $\pm$ 0.7 (3-16)	5.7 $\pm$ 1.1 (3-15)	5.7 $\pm$ 0.8 (3-15)	38.9 $\pm$ 14.2	112.4 $\pm$ 21.6	103.1 $\pm$ 26.7	108.8 $\pm$ 56.5
LO-LF	22.9 $\pm$ 1.9	7.4 $\pm$ 1.0 (3-16)	6.1 $\pm$ 0.6 (3-15)	6.1 $\pm$ 0.6 (3-14)	51.4 $\pm$ 9.0	153.8 $\pm$ 42.7	151.3 $\pm$ 54.1	169.9 $\pm$ 56.5
RO-RF	20.4 $\pm$ 3.5	7.1 $\pm$ 0.8 (3-15)	5.9 $\pm$ 0.5 (3-15)	6.0 $\pm$ 0.5 (3-15)	41.4 $\pm$ 12.1	127.4 $\pm$ 22.5	132.1 $\pm$ 38.0	142.4 $\pm$ 40.4
LO-RO	22.0 $\pm$ 2.7	6.9 $\pm$ 1.4 (3-16)	6.1 $\pm$ 1.6 (3-15)	6.3 $\pm$ 0.7 (3-15)	46.4 $\pm$ 8.2	136.7 $\pm$ 38.1	127.4 $\pm$ 36.1	140.2 $\pm$ 60.3
LF-RF	17.9 $\pm$ 1.6	7.6 $\pm$ 0.7 (3-16)	6.2 $\pm$ 0.6 (3-15)	6.7 $\pm$ 0.5 (3-15)	35.5 $\pm$ 6.3	135.6 $\pm$ 29.7	143.1 $\pm$ 28.5	146.0 $\pm$ 73.2
H.R.	118 $\pm$ 17.6	178 $\pm$ 11.5	171 $\pm$ 9.0	154 $\pm$ 28.5				
R.R.	62.6 $\pm$ 54.2	31 $\pm$ 24.9	15 $\pm$ 6.5	11 $\pm$ 5.7				

Mean $\pm$ SD (n=5)

~8 Hz に減少し, 60分後まで, ほぼ同様の周波数のまま経過した。平均振幅は, 麻酔前に平均36~51 $\mu$ V であったが, 麻酔1分後には約100~150 $\mu$ V に上昇し, その後60分まで比較的安定した値であった。また, 麻酔全経過中を

帯域が増加した。2-4Hz 帯域と8-13Hz 帯域では, わずかな増加であった。また, 両導出ともに, 麻酔1分後から60分後までの間, 周波数成分比の変化はみられず, 両導出 channel 間の差異もみられなかった。

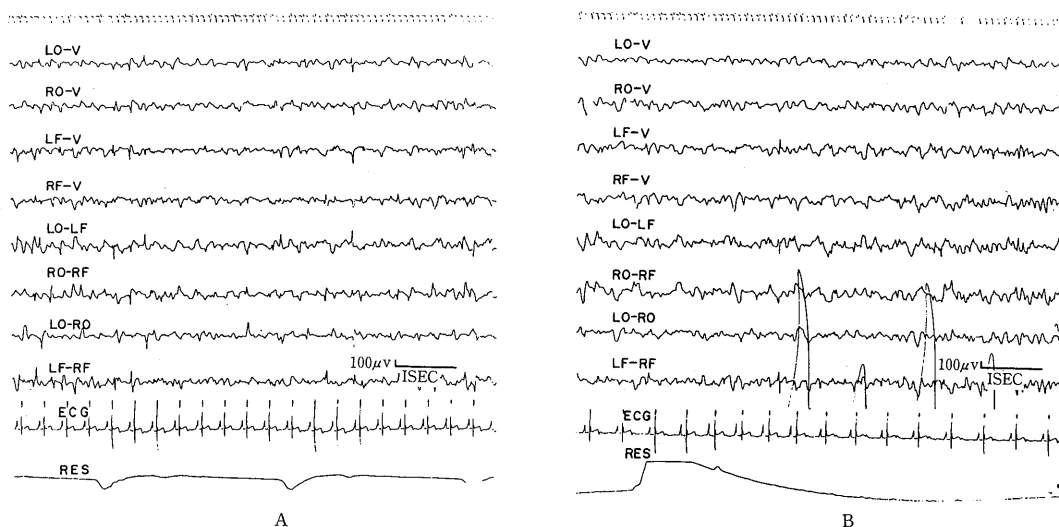


Fig. 10 Bipolar recording arrangement ECoG during anesthesia in the dog.  
A : 1 minute after anesthesia. B : 60 minutes after anesthesia.

Table 5 Frequency components of ECoG in anesthetized dogs

		(%)								
Leads	Hz	ib	1	2	5	10	15	30	60 min	
LO-RO	2-4	20.0±9.7	29.3±16.9	29.9±19.8	31.8±18.3	23.9±15.2	27.3±19.0	27.5±15.9	31.9±15.6	
	4-8	21.9±5.3	34.1±10.6	37.7± 8.2	37.0±10.6	39.3± 4.6	37.6± 5.8	36.5±7.6	36.3± 7.5	
	8-13	12.6±3.3	22.5±13.3	16.6± 6.3	16.7± 7.9	21.5± 8.8	21.3±10.0	22.2± 6.3	21.0± 6.8	
	13-20	24.3±5.5	10.2± 4.8	11.2± 4.7	10.7± 5.1	11.5± 5.7	10.7± 4.5	10.7± 4.4	8.3± 3.5	
	20-30	20.6±5.9	3.5± 2.1	4.1± 2.4	3.3± 1.8	3.4± 1.8	2.7± 1.1	2.7± 1.6	2.1± 0.7	
LF-RF	2-4	22.4±9.2	25.1± 7.2	23.6± 7.8	26.7±10.8	28.5±12.7	30.6± 4.8	31.9±4.4	28.8± 7.8	
	4-8	21.4±6.0	34.3± 1.9	36.4± 5.0	36.3± 6.3	36.8± 5.8	34.9± 3.2	36.2± 5.7	35.9± 3.1	
	8-13	15.8±2.8	24.1± 3.2	25.0± 6.8	24.0± 8.1	21.0± 6.3	20.3± 3.2	19.5± 2.1	21.8± 4.5	
	13-20	22.8±8.3	11.4± 3.0	10.6± 3.4	9.3± 3.8	10.1± 2.7	10.4± 2.5	9.3± 2.0	9.7± 2.5	
	20-30	17.2±4.5	4.7± 1.5	3.9± 1.8	3.2± 1.9	3.0± 2.4	3.3± 1.7	2.8± 1.3	3.4± 1.5	
Mean ± SD (n=5)										

#### 6. 覚醒時における EEG と ECoG の相関

覚醒時における EEG と ECoG との同時記録は、10例のイヌについて LO-LF, RO-RF, LO-RO, LF-RF の双極導出 4 channel を行った。これらのうちの 5 例について、平均周波数、平均振幅及び周波数成分比を計測し、Table 6 に示した。平均振幅は、EEG で平均約 5~10  $\mu$ V、ECoG で平均約 25~30  $\mu$ V であり、ECoG は EEG に比べて約 3 倍であった。平均周波数は、EEG で平均約 35~41 Hz、ECoG で平均約 38~41 Hz であり、EEG と ECoG との差異はみられなかった。

周波数成分比については、2-4 Hz 帯域では EEG が

ECoG より高く、8-13 Hz 帯域では EEG が ECoG より低い値であった。また、ほかの周波数帯域では、EEG が ECoG よりわずかに低い傾向であった。

#### 7. 麻酔時における EEG と ECoG

麻酔時の EEG と ECoG との同時記録は、双極導出 4 channel を 10 例のイヌについて行った。そのうちの 5 例のイヌについて、平均周波数、平均振幅及び周波数成分比を測定した。Table 7 にみられるように、周波数は全 channel で EEG、ECoG とほぼ同様の値であった。しかし振幅では、EEG が平均約 12~17  $\mu$ V であるのに対し



Table 6 Simultaneous recording EEG and ECoG in unanesthetized dogs

Leads		Frequencies Voltages		Frequency components (%)				
		(Hz)	( $\mu$ V)	2—4	4—8	8—13	13—20	20—30
LO—LF	ECoG	41.9 $\pm$ 2.5	29.9 $\pm$ 8.1	28.9 $\pm$ 7.7	21.2 $\pm$ 6.1	12.7 $\pm$ 2.7	16.9 $\pm$ 5.9	19.9 $\pm$ 4.6
	EEG	40.1 $\pm$ 4.9	7.8 $\pm$ 2.6	51.6 $\pm$ 23.3	14.4 $\pm$ 6.5	3.5 $\pm$ 0.7	12.9 $\pm$ 11.7	17.2 $\pm$ 18.3
RO—RF	ECoG	39.5 $\pm$ 4.5	26.2 $\pm$ 5.2	30.2 $\pm$ 6.2	26.5 $\pm$ 2.9	13.0 $\pm$ 4.7	15.0 $\pm$ 3.8	14.9 $\pm$ 4.4
	EEG	38.5 $\pm$ 4.7	8.6 $\pm$ 3.3	60.5 $\pm$ 16.9	18.1 $\pm$ 2.2	4.7 $\pm$ 2.8	5.9 $\pm$ 4.6	10.4 $\pm$ 9.0
LO—RO	ECoG	40.8 $\pm$ 3.1	27.4 $\pm$ 7.1	25.0 $\pm$ 12.2	23.9 $\pm$ 7.5	11.1 $\pm$ 2.7	19.9 $\pm$ 6.6	19.7 $\pm$ 7.3
	EEG	35.2 $\pm$ 5.7	8.6 $\pm$ 3.3	62.2 $\pm$ 15.8	15.6 $\pm$ 4.9	4.2 $\pm$ 1.7	7.0 $\pm$ 6.2	10.7 $\pm$ 11.6
LF—RF	ECoG	38.7 $\pm$ 4.5	28.7 $\pm$ 7.0	20.3 $\pm$ 6.0	25.9 $\pm$ 3.7	12.7 $\pm$ 2.5	21.6 $\pm$ 6.8	19.0 $\pm$ 4.1
	EEG	41.3 $\pm$ 7.0	9.2 $\pm$ 3.8	50.7 $\pm$ 27.3	14.3 $\pm$ 7.2	4.7 $\pm$ 3.8	10.6 $\pm$ 9.5	19.3 $\pm$ 21.7

Mean $\pm$ SD (n = 5)

Table 7 Simultaneous recording EEG and ECoG at 60 minutes after anesthesia in dogs

Leads		Frequencies Voltages		Frequency components (%)				
		(Hz)	( $\mu$ V)	2—4	4—8	8—13	13—20	20—30Hz
LO—LF	ECoG	6.5 $\pm$ 0.8	197.4 $\pm$ 61.2	42.0 $\pm$ 14.5	29.2 $\pm$ 6.5	18.7 $\pm$ 5.3	8.0 $\pm$ 2.7	2.6 $\pm$ 1.2
	EEG	6.0 $\pm$ 0.9	13.1 $\pm$ 2.6	45.6 $\pm$ 19.2	34.9 $\pm$ 17.2	12.5 $\pm$ 6.4	5.2 $\pm$ 3.3	1.3 $\pm$ 0.8
RO—RF	ECoG	6.3 $\pm$ 0.6	128.1 $\pm$ 43.0	34.9 $\pm$ 19.0	40.1 $\pm$ 15.2	15.6 $\pm$ 4.3	6.9 $\pm$ 1.2	2.0 $\pm$ 0.3
	EEG	5.6 $\pm$ 1.0	11.8 $\pm$ 2.6	42.6 $\pm$ 18.9	38.4 $\pm$ 15.6	12.9 $\pm$ 2.6	4.5 $\pm$ 1.6	1.2 $\pm$ 0.8
LO—RO	ECoG	6.5 $\pm$ 0.5	146.3 $\pm$ 38.6	32.9 $\pm$ 11.8	41.4 $\pm$ 8.1	15.5 $\pm$ 3.8	7.6 $\pm$ 2.5	2.1 $\pm$ 1.0
	EEG	5.8 $\pm$ 1.1	12.4 $\pm$ 2.2	47.6 $\pm$ 12.2	32.2 $\pm$ 8.6	13.2 $\pm$ 3.4	5.2 $\pm$ 1.7	1.5 $\pm$ 0.6
LF—RF	ECoG	6.9 $\pm$ 0.7	141.3 $\pm$ 37.5	24.1 $\pm$ 10.3	31.8 $\pm$ 3.1	24.3 $\pm$ 7.3	14.5 $\pm$ 2.9	5.0 $\pm$ 1.6
	EEG	6.6 $\pm$ 1.0	16.8 $\pm$ 3.5	44.0 $\pm$ 10.5	31.8 $\pm$ 9.0	15.1 $\pm$ 4.4	6.8 $\pm$ 1.3	1.8 $\pm$ 0.6

Mean $\pm$ SD (n = 5)

て、ECoGは平均約130~200 $\mu$ Vであり、およそ10倍の振幅を示した。

周波数成分比は、左及び右の脳半球内導出(LO-LF, RO-RF)では、EEGとECoGがほぼ同様の値であった。後頭部導出(LO-RO)では、2-4Hz帯域でEEGがECoGより高く、4-8Hz帯域でEEGがECoGより低い傾向がみられたが、そのほかの周波数帯域では、ほぼ同様の値であった。前頭部導出(LF-RF)では、8-13Hz, 13-20Hz及び20-30Hz帯域ではECoGがEEGより高く、2-4Hz帯域ではECoGの方が低値であった。しかしながら、前頭部導出の4-8Hz帯域では、EEG, ECoGとも差異がみられなかった。

## 考 察

### 覚醒時のEEG及びECoG

覚醒時におけるイヌのEEGについて、Herin et al.<sup>4)</sup>はgallamine triethiodideによって非動化した際のEEGは0-10 $\mu$ Vの振幅で、周波数約28Hzの低振幅速波

であると報告した。Prynn & Redding<sup>14)</sup>はhalothane及びmethoxyflurane麻酔の深度とEEG patternとの関係についての研究で、対照例として導出記録した覚醒時のEEGは約30~40Hz, 10~25 $\mu$ Vの低振幅速波であったと述べている。また、Redding<sup>17)</sup>は、正常な成犬の覚醒時のEEGは3~15 $\mu$ V, 8~38Hzであると記している。更にRedding<sup>18)</sup>は、幼犬から成犬までの7段階についての成長過程における覚醒 pattern 及び振幅、周波数を記載し、1~10歳のイヌのEEGの覚醒 pattern は、“low amplitude fast wave forms are well synchronized”であり、周波数15~30Hz, 振幅5~15 $\mu$ Vと述べている。

著者らの実験におけるイヌの覚醒時のEEGは、測定した7例の平均値が、平均周波数約19~23Hz, 振幅約12~14 $\mu$ Vの低振幅速波であった。このような著者らの成績並びに先人の報告<sup>4,14,17)</sup>した成績は、ほぼ一致した計測値であり、いずれも低振幅速波であった。

それ故、イヌの覚醒時のEEGの平均周波数及び振幅は、イヌの個体差、導出 channel の違い、イヌの安静状

態などによる若干の差異があるとしても、低振幅速波が正常な EEG であろうと考えられる。しかし、Redding & Colwell<sup>10)</sup>は平均周波数7.3Hz、平均振幅 $20.5\mu\text{V}$ であったと報告したが、彼等の供試したイヌが3~5ヵ月齢であり、成犬に比べて低い周波数が得られたものと推察される。

覚醒時のイヌの ECoG について、Kadono & Nakagawa<sup>5)</sup>は fluothane 麻酔前の  $\text{O}_2$  吸入期 (control period) の ECoG を導出記録し、周波数20~40Hz、振幅10~ $30\mu\text{V}$ の低振幅速波であったが、大多数の波は20~30Hzの範囲にあり、30Hz以上の波はまれであると報告した。

著者らは、10例のイヌについての覚醒時 ECoG を導出記録し、そのうちの計測した5例の平均周波数は約18~23Hz、振幅約 $36\sim 51\mu\text{V}$ であった。これらの数値は、著者らの実験における EEG に比べて振幅はやや高いが、平均周波数はほぼ同様であった。また、著者らの実験において、ECoG の振幅が約 $36\sim 51\mu\text{V}$ であり、Kadono & Nakagawa<sup>5)</sup>の10~ $30\mu\text{V}$ に比してや、高い値であったが、供試犬の違いや植え込み電極の位置あるいは皮質との隔りによる差異が現われたものと推察される。さらに、計測方法からみても、必然的に生ずる誤差の範疇にあると思われるが、この点に関してはさらに検討が必要である。周波数に関しては、著者らの平均周波数の平均値で約18~23Hz、Kadono & Nakagawa<sup>5)</sup>は20~40Hzの範囲内であり、そのうちの大多数が20~30Hzであることから、両者間に差異はないと思われる。

一方、Redding & Colwell<sup>10)</sup>は、覚醒時の ECoG の平均周波数が6.5Hz、平均振幅が $39.8\mu\text{V}$ であると報告した。彼等の成績では、平均振幅は著者らの計測値とほぼ同様であるが、平均周波数は著者ら及び Kadono & Nakagawa<sup>5)</sup>に比べて極めて低い値であった。この差異は、Redding & Colwell<sup>10)</sup>の供試犬が、3~5ヵ月齢の幼犬であるためと考えられる。

覚醒時の ECoG の周波数成分比は、8-13Hz 帯域が他の周波数帯域に比べて、やや低い値であったが、2-4Hz、4-8Hz、13-20Hz 及び20-30Hz の4周波数帯域では、ほぼ同じ値であり、各導出 channel 間での差異もみられなかった。

上述したように、覚醒時の EEG と ECoG との平均振幅では EEG に比べて ECoG の方が高かったが、平均周波数及び周波数成分比では両者間の差異がみられなかった。また、EEG 及び ECoG のそれぞれの平均周波数、平均振幅、周波数成分比において、各導出 channel 間での

差異がなかった。これらのことは、覚醒安静時の脳の各領域からの双極導出脳波では同様の波形が得られ、組み合わせられた各電極間の電氣的活動も、ほぼ等しいものと推察される。それ故、ヒト脳波のように、多数の電極装着可能な場合と同様な応用は困難であり、より限局した領域あるいは機能を対象とした方が、臨床的には有効な手法と考えられる。

#### 麻酔時の EEG 及び ECoG

Prynn & Redding<sup>13)</sup>は methoxyflurane 麻酔のための導入麻酔として、methohexital を体重0.45kg当たり5mgを静脈内に投与し、1分後の EEG は徐波化と random spikes がみられると報告した。さらにこれらの周波数は4~6 Hz、振幅は $25\sim 50\mu\text{V}$ であり、12~18Hzの波が重畳すると述べている。Fox<sup>3)</sup>はイヌの成長期の EEG に対する pentobarbital の影響について検索し、24日齢以降のイヌを pentobarbital で深麻酔したときの EEG では、周波数が減少し、鋭波成分と速波成分を伴った振幅の増大がみられると報告した。Klemm<sup>7)</sup>は sodium pentobarbital で軽麻酔をしたイヌの EEG は、少なくとも30分間は安定しており、麻酔下においても、脳の異常を EEG で検出できると報告した。

著者らの行った sodium pentobarbital 麻酔時の EEG では、周波数は麻酔1分後から減少し、60分後まで大きな変化がみられず、安定した推移であった。振幅は麻酔1分後から増大し、60分後まで比較的安定していたが、わずかに個体差と思われる振幅の差異がみられるものもあった。このような振幅の差異は、イヌの個体による脳活動電位の差異というよりは、麻酔薬に対する感受性の違い、麻酔経過の違いなどによる麻酔深度の差異が考えられる。また、電極装着位置と大脳皮質との対応部位のわずかな違いによっても、振幅の差異を生ずるとと思われるので、さらに検討が必要である。

すでに実験成績の項でも述べたように、麻酔によって生ずる EEG の変化は、著者らの実験においても、周波数の減少、振幅の増大、鋭波速波の重畳を伴う pattern に移行するものと思われる。これらの EEG pattern は、上述した先人<sup>3,7,13)</sup>の成績にほぼ一致する経過であり、イヌの麻酔状態が安定している期間中、維持されるものと推察される。

麻酔時の ECoG は、EEG の例と同様に覚醒時に比べて、麻酔1分後から周波数が減少し、周波数成分比は高周波成分が減少したが、振幅では麻酔1分後から増大した。これらの変化は、麻酔1分後から60分後に至るまで、

ほぼ安定した値であった。

EEG と ECoG の同時記録においても、それぞれの単独記録の例と同様に、麻酔1分後から60分後に至るまで安定しており、ともに周波数の減少、振幅の増大を伴う変化であったが、振幅の増大は ECoG で特に著しかった。

Redding & Colwell<sup>16)</sup>は覚醒時と睡眠時に EEG と ECoG の同時記録を行い、EEG の波形が基本的には ECoG の波形と類似しており、EEG の振幅が小さく、ECoG の高周波成分が少ないという点のみが異なると述べている。

著者らの実験においても、EEG と ECoG の、波形並びに周波数成分比は、基本的には両者間に差異はみられなかった。特に麻酔時における EEG と ECoG との同時記録では、artifact の混入がみられず、周波数、周波数成分比はほぼ同様であり、振幅のみが大きく異っていた。すなわち、振幅の平均値では EEG が約12~17 $\mu$ V であり、ECoG が約130~200 $\mu$ V であった。一方 Redding & Colwell<sup>16)</sup>は、EEG の振幅は ECoG の約 $\frac{1}{2}$ になると報告しており、著者らの成績とは著しく異なっている。このような相違は、供試したイヌの年齢、種類、電極植え込み位置や脳皮質との接近状態の違いなど、諸種の原因が考えられる。しかしながら、著者らの成績と先人の報告<sup>5,16)</sup>は、脳波の基本的波形及び周波数において、ほぼ同様の成績が得られた。

以上述べたように、著者らの実験成績並びに多くの先人の報告<sup>4,5,7,13,14,16~18)</sup>は、EEG と ECoG、覚醒時と麻酔時、及びそれらの組み合わせによって得られた脳波の基本的波形、周波数においては、ほぼ同様の成績であろうと考えられる。また、振幅においては、EEG と ECoG、覚醒時と麻酔時などの成績に差異のある報告もみられるが、供試動物の年齢、犬種の違い、電極位置のわずかな違いなどによるものと思われる。

いずれにしても、イヌの脳波を臨床的に応用する場合には、犬種による頭蓋の形状の違い、頭蓋と脳皮質との相対的位置関係の違い、頭部の筋肉、皮質の厚さの違い、さらに電極位置と脳皮質との相対的位置関係の違い、などを考慮に入れて導出する必要がある。また、イヌの脳皮質表面積が小さいため、ヒト脳波導出のように多数の電極を装着することができないので、数少ない電極の配置及び組み合わせ、導出記録法などの標準化を行うことによって、イヌの神経性疾患診断への幅広い臨床応用が可能になると考えられる。

## 結 論

イヌの脳波を臨床的に応用するための基礎的研究として、覚醒時と麻酔時における EEG と ECoG の双極導出記録を行った。また、頭蓋上の皮膚表面から導出する EEG と、硬脳膜上から導出する ECoG との対応を調べるために、麻酔時の EEG と ECoG との同時記録を行い、比較検討した。

その結果、覚醒時における EEG 記録では、イヌの緊張状態、体動、頭部筋電図などによる artifact が混入しやすく、安定した EEG を導出記録できた例はおよそ半数にすぎなかった。また、記録可能な例においても、長い時間にわたって安定した記録を得るためには、困難を伴うことが多かった。これに対して、麻酔時の EEG では artifact の混入が少く、周波数、振幅、周波数成分比ともに、麻酔1分後から60分後までは、ほぼ安定した値であった。

麻酔時における EEG と ECoG との同時記録では、振幅において ECoG が EEG に比べて著しく高い値であったが、基本的な波形、周波数、周波数成分比は、両者の間に大きな差異がみられなかった。

## 文 献

- 1) Croft, P. G.: Fits in dogs, a survey of 260 cases. *Vet. Rec.*, 77 438-445 (1965)
- 2) Delahunta, A. and Cummings, J. F.: The clinical and electroencephalographic features of hydrocephalus in three dogs. *J. A. V. M. A.* 146 954-964 (1965)
- 3) Fox, M. W.: Effects of pentobarbital on the EEG of maturing dogs and a review of literature. *Vet. Rec.*, 76 768-770 (1964)
- 4) Herin, R. A., Purinton, P. T. and Fletcher, T. F.: Electroencephalography in the unanesthetized dog. *Am. J. Vet. Res.*, 29 329-336 (1968)
- 5) Kadono, H. and Nakagawa, T.: Effects of fluothane on electroencephalogram in the dog. *Jap. J. Vet. Sci.*, 36 111-120 (1974)
- 6) Klemm, W. R.: Electroencephalograms of anesthetized dogs and cats with neurologic diseases. *Am. J. Vet. Res.*, 29 337-351 (1968)
- 7) Klemm, W. R.: Subjective and quantitative analyses of the electroencephalogram of anesthetized normal dogs, control data for clinical

- diagnosis. *Am. J. Vet. Res.*, **29** 1267-1277 (1968)
- 8) Klemm, W. R. : Attempts to standardize veterinary electroencephalographic techniques. *Am. J. Vet. Res.*, **29** 1895-1900 (1968)
- 9) Klemm, W. R. : Animal electroencephalography. Academic press, New York and London (1969) pp. 1-270
- 10) Klemm, W. R. and Hall, C. L. : Electroencephalograms of anesthetized dogs with hydrocephalus. *Am. J. Vet. Res.*, **32** 1859-1864 (1971)
- 11) Klemm, W. R. and Hall, C. L. : Electroencephalographic pattern abnormalities in dogs with neurologic disorders. *Am. J. Vet. Res.*, **33** 2011-2025 (1972)
- 12) Klemm, W. R. and Hall, C. L. : Current status and trends in veterinary electroencephalography. *J. A. V. M. A.*, **164** 529-532 (1974)
- 13) Prynn, R. B. and Redding, R. W. : Electroencephalogram in occult canine hydrocephalus. *J. A. V. M. A.*, **152** 1651-1657 (1968)
- 14) Prynn, R. B. and Redding, R. W. : Electroencephalographic continuum in dogs anesthetized with methoxyflurane and halothane. *Am. J. Vet. Res.*, **29** 1913-1928 (1968)
- 15) Redding, R. W. : A simple technique for obtaining an electroencephalogram of the dog. *Am. J. Vet. Res.*, **25** 854-857 (1964)
- 16) Redding, R. W. and Colwell, R. K. : Verification of the significance of the canine electroencephalogram by comparison with the electrocorticogram. *Am. J. Vet. Res.*, **25** 857-861 (1964)
- 17) Redding, R. W. : Canine electroencephalography. In Canine neurology. 3th ed. Edited by Hoerlein, B. F., W. B. Saunders Company, Philadelphia. London and Toronto (1978) pp. 150-205
- 18) Redding, R. W. and Knecht, C. E. : Atlas of electroencephalography in the dog and cat. Praeger Publishers, New York (1984) pp. 1-379