ニオイ刺激によるヒトの脳波

— 呼吸および source derivation 法による検討 —

福岡大学医学部耳鼻咽喉科学教室, *九州大学大学院芸術工学研究院音響部門

力丸 文秀, 白石 君男*, 加藤 寿彦

Effect of Olfactory Stimulation on the EEG

Fumihide Rikimaru, Kimio Shiraishi*, Toshihiko Kato

Department of Otorhinolaryngology, School of Medicine, Fukuoka University, Fukuoka

*Department of Acoustic Design, Faculty of Design, Kyushu University, Fukuoka

In this study we recorded the electroencephalograms (EEGs) of humans during exposure to the odorant stimuli. The EEGs were divided into superficial components and deep components by a source derivation (SD) method, and each superficial and deep component of the EEGs was divided into an inspiratory phases and an expiratory phase.

The subjects were 13 euosmic adults. Strawberry ice syrup (strawberry smell), β -phenylethyl alcohol (rose smell), and prosultiamine (Alinamin smell) were used as odorant stimuli. We analyzed the power spectrum of each EEG by fast Fourier transform (FFT) and calculated the spectrum density (power value) for each frequency band (δ , θ , α 1, α 2, β 1, β 2).

Stimulation with each of the three odorants decreased the power value of the θ band. Division of the EEGs into an inspiratory phase and an expiratory phase showed that all three olfactory stimuli decreased the power value of the θ band. A decreased power value of the θ band in the expiratory phase was found in a deep component in response to the strawberry and rose odors, and appeared to be a response to an agreeable smell. The change in the θ band appeared to be related to recognition of the smell in the inspiratory phase. The decreased power value of the α 1 band was concentrated in the right region on the scalp in the breathing phase, the inspiratory phase, and the expiratory phase. It showed a significant response only to the strawberry smell. The decreased β 1 power value occurred in response to the strawberry in the deep component of the breathing phase.

Division of the EEGs into an inspiratory phase and an expiratory phase showed that there is a difference of EEG responses in kinds of odor stimuli. And also division of the EEGs by SD method there is a difference between superficial and deep components in EEGs.

Key words : olfaction (嗅覚), electroencephalogram (脳波), respiration (呼吸),
source derivation (SD) method (電源誘導法)

I. はじめに

ヒトの嗅覚は意識下に存在し、無意識のうちにヒトの脳活動や行動に影響を与えていると推測されている^{1,2)}

が、ニオイがヒトの脳活動にどのような影響を与えるかは、充分明らかにされていない。ニオイに対する脳波の研究は古くからなされ、Moncrieff^{3~5)}に代表されている。その後も多くの研究者がニオイによる脳波変動の意

図1 ブロックダイアグラムと電極部位

味づけを行っているが、現在もなおその見解は一致していない。その理由として、ニオイは嗅糸より嗅球に入り外側嗅索から、梨状皮質、扁桃核などの大脳辺縁系や視床背内側核に至り、眼窩前頭皮質に投射される⁶⁾という複雑な解剖学的な経路が考えられる。ニオイ刺激によって賦活される脳の反応は、脳の深部から表層部まで広範囲の領域の関与が考えられるからであり、Lorigら²⁾は、ヒトの嗅覚システムの大部分は大脳皮質の深層にあり、皮質における描出は不完全としている。そこでわれわれはHjorthら⁷⁾の電源誘導法 (Source derivation法: 以下、SD法) を応用して、頭皮上の脳波を表在成分と深部成分に分離することで、ニオイ刺激による脳波の変動をより詳細に把握できるのではないかと考えた。またヒトがニオイを感じるための鼻腔は、同時に呼吸道でもあり脳波と同時に呼吸の状態を記録して吸気時と呼気時の脳波に分離し解析することで、それぞれ異なる脳活動が捉えられる可能性があると思われた。

本研究は、ニオイ刺激に対する脳波を、SD法を用いて表在性の成分と深部性の成分に分離し、また吸気時および呼気時に相当する脳波を抽出し、脳波の周波数分析を行いニオイによって惹起された脳活動を詳細に解析することを目的とした。

II. 対象と方法

対象は過去に嗅覚障害の既往のない右利きの健常成人13名 (男性6名、女性7名、22-31歳) とした。ニオイ刺激は、市販されている strawberry ice syrup (井村屋、

以下、ストロベリー臭)、T & T オルファクトメトリに用いられる基準臭 A5 (以下、バラ臭) および静脈性嗅覚検査に用いられるアリナミン[®]注射液 (以下、アリナミン臭) を用いた。実験は電氣的にシールドされた室内で行われ、被験者に2-3秒に1呼吸を行うよう指示した。ニオイ刺激は、基準嗅覚検査に用いられているニオイ紙 (幅7mm、長さ150mmの無臭濾紙) の先端10mmにニオイ物質を浸し、被験者の鼻先約10mmに60秒間以上呈示した。ニオイ刺激呈示後のニオイの残存や拡散を除去するため、換気装置を設置し、雑音の混入を防ぐため両耳のマスキングを行った。図1に実験のブロックダイアグラムを示す。

ニオイ刺激の呈示は、ストロベリー臭から開始し、バラ臭、アリナミン臭の順で行なった。ニオイ刺激前の安静時、ニオイ刺激時、ニオイ刺激終了後を1セッションとし、各セッション後に、快・不快指数を示す100mmのvisual analogue scale (以下、VAS) を用い、被験者にそのニオイ刺激に対する快・不快指数を指示させた。

脳波記録は、関電極を国際式10-20法に従い、頭皮上の16カ所に設置し、電極間抵抗は5kΩ以下とした (図1)。

被験者には、ニオイを自覚した時と嗅感覚が消失した時に、手元の電気パルスが発生させるボタンを1回押すように指示した。またサーミスタ (日本光電, TR-611T) を用いて呼吸時の温度変化を検出し、電圧に変換 (以下、呼吸曲線) して、呼吸状態を脳波と同時に記録した。

今回の実験では、ニオイ刺激の呈示前に安静時の脳波を3分以上記録し、その後連続してニオイを感じている時の脳波（以下、嗅感覚時）を記録、さらに被験者が自覚的にニオイを感じなくなった嗅感覚消失後の脳波を3分以上記録した。アーチファクトのあるものを除外した連続60秒間の脳波を解析対象とし、原波形を Cosine tapered window で処理、高速フーリエ変換（以下、FFT）によってパワースペクトルを求めた。脳波は δ 波帯域（2.0–3.9Hz）、 θ 波帯域（4.0–7.9Hz）、 $\alpha 1$ 波帯域（8.0–9.9Hz）、 $\alpha 2$ 波帯域（10.0–12.9Hz）、 $\beta 1$ 波帯域（13.0–19.9Hz）、 $\beta 2$ 波帯域（20.0–29.9Hz）とし、各周波数帯域別のパワースペクトルの平方根であるスペクトル密度（以下、パワー値）を電極部位（チャンネル）別に算出した。また脳波と同時に記録した呼吸曲線から、吸気時と呼気時の脳波を抽出し、それぞれ吸気相、呼気相とし、また吸気呼気に分離していない脳波を呼吸相とした。使用したデータは、一つの呼吸サイクルの吸気相からそれに連続する呼気相をそれぞれ同じ時間長とした。

さらに記録された脳波の原波形から各被験者の平均基準誘導（common average reference：以下、CAR）による波形を求め、SD 法による波形を計算し、これを表在成分、CAR の波形から表在成分を減じた波形を求め、これを深部成分とした。

統計学的検討は、UNIX の統計パッケージ SAS (statistic analysis system, Ver. 6. 11) を用いて行った。データの解析は、分散分析 (ANOVA) および SAS の多重比較検定の一つである TUKEY 法を用いた。有意水準 (α) は 0.05 および 0.01 とした。VAS による快・不快指数のスコア（以下、VAS スコア）については医学統計ソフト (StatView 5.0) を用いて分散分析 (ANOVA) と多重比較検定 (Games/Howell 法) を行った。頭皮上16カ所の電極部位に対し6周波数帯域で検討を行っていることから、有意水準 $\alpha = 0.05$ において5カ所以上のチャンネルで変動を認める場合を有意差ありとして評価した。

Ⅲ. 結 果

1. ニオイの違いによる快・不快指数の検討

各ニオイ刺激に対する VAS スコアの平均値と標準偏差を示す (図 2)。3 種のニオイは快適、不快に対して有意差が認められた ($df=2$, $F=29.313$, $p<0.0001$)。多重比較検定ではストロベリー臭とバラ臭で、ストロベリー臭の方が快適 ($p<0.05$)、ストロベリー臭とアリナミン臭で、ストロベリー臭が快適であった ($p<0.05$)。

図 2 快・不快指数 (Games/Howell 法)

またバラ臭とアリナミン臭で、バラ臭の方が快適であった ($p<0.05$)。

2. ニオイ刺激による脳波の周波数帯域別変動

まずニオイ刺激による脳波を分析する前に、各安静時の検討を行った。次に呼吸相における検討を行い、さらにそれを吸気相と呼気相に分割した時の検討を行った。最後に吸気相と呼気相のそれぞれについて表在成分と深部成分での検討を行った。

1) 各安静時における周波数帯域別検討

まず被験者における脳波の左右差に有意差を認めなかったことを確認した後に、各ニオイ刺激前の安静時が同じ状態であるかを、周波数帯域別に検討を行い、有意差を認めなかった。表在成分と深部成分に分離した検討でも、有意差を認めず、各安静時における被験者の状態は同様であると判定した。よって以下の検討では、ニオイ刺激前の安静時と嗅感覚時のパワー値を比較した。

2) 呼吸相における周波数帯域別検討

各ニオイ刺激に対する呼吸相での脳波を周波数帯域別に検討した (図 3)。

(1) ストロベリー臭刺激時

ストロベリー臭刺激時には安静時と比較して θ 波帯域、 $\alpha 1$ 波帯域、 $\beta 1$ 波帯域でパワー値の減少を認め、特に $\alpha 1$ 波帯域では頭皮上全ての部位にパワー値の減少を認めた。有意水準 $\alpha = 0.01$ でみると、 $\alpha 1$ 波帯域のパワー値の減少は右側に偏っていた。その他の帯域には有意な変化は認められなかった。

(2) バラ臭刺激時

バラ臭刺激時では θ 波帯域にのみ安静時と比較してパワー値の減少を認めた。他の帯域には有意な変化は認められなかった。

(3) アリナミン臭刺激時

バラ臭刺激時と同様にアリナミン臭刺激時は安静時と比較して θ 波帯域のみパワー値の減少を認め、他の帯

図 3 各ニオイ刺激における呼吸相の安静時と嗅感覚時の比較

図 4 各ニオイ刺激における吸気相，呼気相の安静時と嗅感覚時の比較

域には有意な変化は認められなかった。有意水準 $\alpha=0.01$ でみると、この θ 波帯域の反応は前方に偏していた。

3) 吸気相と呼気相における周波数帯域別検討

各ニオイ刺激に対する反応を吸気相と呼気相に分けて周波数帯域別に検討した (図 4)。

(1) ストロベリー臭刺激時

ストロベリー臭刺激時では安静時と比較して吸気相、呼気相ともに θ 波帯域、 $\alpha 1$ 波帯域にパワー値の減少を

認めた。この $\alpha 1$ 波帯域は、有意水準 $\alpha=0.01$ では、頭皮上右側に偏していた。その他の周波数帯域には有意な差を認めなかった。

(2) バラ臭刺激時

バラ臭刺激時では安静時と比較して吸気相では $\beta 2$ 波帯域にパワー値の減少を認め、呼気相では θ 波帯域と $\beta 1$ 波帯域にパワー値の減少を認めた。

(3) アリナミン臭刺激時

アリナミン臭刺激時では安静時と比較して吸気相の全

図 5-1 ストロベリー臭刺激時

図 5-2 バラ臭刺激時

S:表在成分 ○:パワー値増加 ($\alpha=0.05$) ●:パワー値減少 ($\alpha=0.05$)
D:深部成分 ●:パワー値減少 ($\alpha=0.01$)

図 5 吸気相と呼気相の表在成分と深部成分の安静時と嗅感覚時の比較

帯域で有意な変化は認められなかったが、呼気相では θ 波帯域にのみパワー値の減少を認めた。また有意水準 $\alpha=0.01$ では、この反応は前方に偏していた。その他の周波数帯域では有意な差を認めなかった。

4) 吸気相および呼気相の表在成分と深部成分における周波数帯域別の検討

各ニオイ刺激に対する反応を吸気相と呼気相で表在成分と深部成分に分けて周波数帯域別に検討した (図 5)。

(1) ストロベリー臭刺激時

ストロベリー臭刺激時は安静時に比べ吸気相では表在成分で θ 波帯域, $\alpha 1$ 波帯域にパワー値の減少を認め、深部成分では δ 波帯域, θ 波帯域, $\alpha 1$ 波帯域, $\beta 1$ 波帯域にパワー値の減少を認めた (図 5-1)。特に深部成分の θ 波帯域, $\alpha 1$ 波帯域でほぼ全チャンネルにその反応を認めた。呼気相では表在成分, 深部成分ともに, θ 波帯域, $\alpha 1$ 波帯域にパワー値の減少を認めた。

(2) バラ臭刺激時

バラ臭刺激時では安静時との比較で吸気相では、表在成分に有意な変化は認められなかったが、深部成分で $\alpha 2$ 波帯域にパワー値の減少を認めた (図 5-2)。呼気相では深部成分に θ 波帯域のパワー値の減少を認めるのみで、その他には有意差を認めなかった。

(3) アリナミン臭刺激時

アリナミン臭刺激時は安静時と比べ吸気相, 呼気相で表在成分, 深部成分ともに全周波数帯域で有意な変化は認められなかった。

IV. 考 察

1. ニオイ刺激における脳波変動について

1) θ 波帯域の変動

ニオイ刺激に対する脳波変動の報告の中で, Lorig and Schwartz⁸⁾ は period analysis による解析で θ 波帯域の活動の増加を認め、緊張や不安の減少としている。Klemm ら⁹⁾ は, θ 波帯域はニオイの快, 不快や覚醒状態に依存せずニオイに対する重要な帯域であるとしている。山口ら¹⁰⁾ は覚醒効果に, Martin¹¹⁾ は快楽に関連し重要な帯域であると報告している。このように θ 波はニオイ刺激によって変動することは共通しているが、パワー値の増減については必ずしも一致していない。

今回の実験では、呼吸相においてニオイ刺激に対しパワー値の減少が観察され、山口ら¹⁰⁾、Martin¹¹⁾ の結果と一致したが、快適なニオイ刺激と不快なニオイ刺激で同様に脳波変動を認めたことから、前述の覚醒効果や快楽という点では説明することができない。しかし Klemm ら⁹⁾ や Martin¹¹⁾ の報告のように、この θ 波帯域の脳波変動はニオイ刺激と関連した重要な帯域であると考えられた。

次に吸気相における検討では、快適刺激であるストロベリー臭にのみパワー値の減少を認めたが、呼気相における反応では 3 種類のニオイ刺激ともパワー値の減少を認めた。さらに表在成分と深部成分に分離して検討すると、吸気相ではストロベリー臭のみに表在成分, 深部成

分ともにパワー値の減少を認め、特に深部成分ではほぼ全チャンネルにその変化を認めた。呼吸相では、表在成分にはストロベリー臭でパワー値の減少を認め、深部成分ではストロベリー臭とバラ臭で多くのチャンネルに変化を認めた。このように吸気相、呼吸相別に行った検討や表在成分、深部成分別に検討を行うことで、ニオイに対する脳の反応はそれぞれ異なっていることが明らかになった。

また吸気相と呼吸相とでは、それぞれ嗅感覚時の脳の反応は異なり、呼吸相と呼吸相では、3種類のニオイ刺激による反応としてともにパワー値が減少したことから、呼吸相の反応は主に呼吸相を反映していると思われる。

通常ヒトはニオイを感じたとき、それが何のニオイであるかという認知を行うと考えられる。この実験のニオイ刺激では、ストロベリー臭とバラ臭は快適刺激であったが、ストロベリー臭は市販されているイチゴ風味のシロップであり、日常生活の中でも使用されているため、それと認知されやすかったと推測された。しかしバラ臭やアリナミン臭は臨床的に検査として用いられている合成されたニオイであるため、ともに認知されにくいと考えられる。このことからストロベリー臭刺激のみで認めた吸気相の θ 波帯域のパワー値の減少は、ニオイを認知したことによる反応ではないかと推定された。これを表在成分と深部成分に分離した検討でも、それぞれに変化が認められ、ニオイ刺激による梨状皮質などの大脳辺縁系の働きと認知に関わる大脳皮質の働きがともに起きていると考えられる。

次に呼吸相では、3種類のニオイ刺激とも θ 波帯域のパワー値の減少を認めたことから、ニオイに対する共通な脳の反応が起きていると思われる。しかし呼吸相における深部成分では、ストロベリー臭とバラ臭に変化を認めた。これらは快適とされたニオイであり、快適に対する反応と推測された。また深部成分に認められたことから、情動などに関わるとされる扁桃体などの大脳辺縁系で快情動の反応と考えられた。

呼吸相における θ 波帯域の脳波変動は、ストロベリー臭では頭皮上ほぼ全体に、バラ臭では後方に偏し、アリナミン臭では前方に偏して認められた。Klemmら⁹⁾やMartin¹¹⁾の報告では、ニオイ刺激の違いにより、反応する部位が異なることが示されており、今回の結果と合致する。

以上より、ヒトはニオイを感じると、 θ 波帯域のパワー値の減少が認められ、主に呼吸相における反応が表されていると考えられた。また θ 波帯域は、ニオイに対

する認知や情動反応を担っていると思われる。

2) α 波帯域の変動

α 波帯域は、8-13Hzの周波数を持ち、脳の活動水準によっても微細に変動するため、これを細分化することで、種々の精神状態における脳波の変動を精密に検討することができるといわれている¹²⁾。今回の実験では、 $\alpha 1$ 波帯域(8-9.9Hz)と $\alpha 2$ 波帯域(10-12.9Hz)に分けて検討した。この帯域は、正常成人の頭頂部や後頭部で記録される脳波に最も著明にみられ、安静閉眼状態で、リラクセスしている時に主体となるとされている。 α 波帯域におけるニオイ刺激に対する変動については、多くの研究者がFFTによって解析を行い、その結果パワー値の増加を報告している。Tollerら¹³⁾は、快適臭と不快臭のニオイ刺激を行い、 α 波帯域のパワー値の増加を認め、ニオイによる反応と考えている。古賀ら¹⁴⁾は、被験者が好ましいと感じたニオイで10.5-11.5Hzのパワー値の増加が顕著であったとしている。藤田ら¹⁵⁾、修多羅ら¹⁶⁾、Hwiら¹⁷⁾は、 α 波帯域のパワー値の増加を認め、緊張がとれリラクゼーションの反応と解釈している。さらに修多羅ら¹⁶⁾は、この帯域は個人の嗜好と深く関連すると報告している。前述の山口ら¹⁰⁾は、 α 波帯域のパワー値の増加は緊張の緩和や抑制を表していると考え、沢田ら¹⁸⁾は、8.0-11.0Hzのパワー値の増加は鎮静効果に密接な関係があると考えている。一方Brauchliら¹⁹⁾は、不快臭で α 波帯域のパワー値の増加を認め脳の非活性化であるとしている。このように α 波帯域のパワー値の増加に対する解釈は、生体がリラクセスした状態としているものが多い。

一方Moncrieff^{3,4)}、市原ら²⁰⁾は、脳波の原波形を視察してニオイ刺激により α 波帯域の抑制を認めたと報告している。FFTによる解析で α 波帯域のパワー値が減少したとする報告は、Schwartzら²¹⁾、Toriiら²²⁾によってもなされている。Toriiら²²⁾は好みのニオイを使用し、 α 波帯域のパワー値の減少は感情や情動のあらわれと考察している。このように α 波帯域における脳波変動の様相や解釈は一定しておらず、 α 帯域のパワー値の減少を認めた報告は必ずしも多くない。

今回の実験における α 波帯域の変化は、呼吸相ではストロベリー臭刺激時のみに $\alpha 1$ 波帯域でパワー値の減少を認め、バラ臭やアリナミン臭では変化を認めなかった。吸気相と呼吸相に分離した比較では、この $\alpha 1$ 波帯域の変動は吸気相、呼吸相、表在成分、深部成分でもともに認められた。つまり、より快適なストロベリー臭のみに $\alpha 1$ 波帯域の脳波変動を認めたことから、これは快刺激によって引き起こされた持続する広範な脳の反応と

考えられた。

$\alpha 2$ 波帯域では、吸気相の深部成分でバラ臭に 5 カ所のチャンネルで散在してパワー値の減少を認めたのみで、その他に有意な反応を認められず、このパワー値の減少は有意なものではないと考えられる。

以上よりニオイ刺激に対する α 波帯域の反応は、より快適なニオイ刺激により主に $\alpha 1$ 波帯域のパワー値の減少として認められた。

3) β 波帯域の変動

β 波については、正常成人の覚醒時にみられ、覚醒水準が上昇すると増加し、体性感覚の入力により抑制されるとされている²³⁾。 β 波帯域のニオイ刺激による変動についての報告はあまり多くない^{20, 24, 25)}。今回の実験で β 波帯域に有意な変化が認められたのは、呼吸相ではストロベリー臭刺激時で、パワー値は減少していた。バラ臭刺激では 4 カ所で有意ではないがパワー値の減少を認め、不快なアリナミン臭刺激時では変化を認めなかった。特にストロベリー臭刺激時の吸気相、深部成分では多くの変化を認め、快刺激により起こる大脳辺縁系の反応と考えられ、快適なニオイに対する覚醒水準の変化を表していると推測された。

V. まとめ

快、不快とされる 3 種類のニオイ刺激を嗅覚正常な 13 名に呈示して脳波を記録し、高速フーリエ変換することによって、各周波数帯域のパワースペクトルのスペクトル密度を求めた。さらに、吸気相と呼気相における脳波および電源誘導法を用いて表在成分と深部成分に分離したときの脳波を安静時と嗅覚時で比較検討し、以下の結果が得られた。

1. ニオイ刺激に対する呼吸相での θ 波帯域のパワー値の減少は、ニオイに対する反応と考えられた。
 2. 脳波を吸気相と呼気相に分離した検討では、呼吸相は主に呼気相の脳波変動を反映していると推測した。
 3. 呼気相での θ 波帯域のパワー値の減少は、快適なニオイに対する反応と考えられた。
 4. 吸気相で認められた θ 波帯域の変動はストロベリー臭刺激のみであり、ニオイに対する認知との関連が推測された。
 5. $\alpha 1$ 波帯域のパワー値の減少は、ストロベリー臭刺激のみに認められ、より快適な反応と考えられた。
 6. $\beta 1$ 波帯域のパワー値の減少は、快適刺激により覚醒水準が変化したことによる反応と考えられた。
- 以上のように、ニオイ刺激によるヒトの脳波変動を検討する際、呼吸や脳波の表在成分や深部成分という深さ

の情報を加えることで、脳活動は快、不快といったニオイに対して異なり、また吸気相と呼気相での活動の違いが示され、さらに表在成分と深部成分に分離した反応にも相違があることが明らかにされた。

また PET や functional MRI によるニオイ刺激での脳機能評価^{26~28)} と SD 法での脳活動を比較検討することで、今後さらに嗅覚の中樞認識機構が明らかにされる可能性がある。

本論文の一部は第 39 回日本鼻科学会総会（金沢市，2000 年），第 102 回日本耳鼻咽喉科学会総会（福岡市，2001 年）にて発表した。

参考文献

- 1) Lorig TS: Human EEG and odor response. *Prog Neurobiol* 1989; 33: 387-98.
- 2) Lorig TS, Huffman E, DeMartino A, et al: The effect of low concentration odors on EEG activity and behavior. *J Psychophysiol* 1991; 5: 69-77.
- 3) Moncrieff RW: Effect of Odours on E.E.G. Records Part I.P. & E.O.R. 1962; November: 757-60.
- 4) Moncrieff RW: Effect of Odours on E.E.G. Records Part II: P. & E.O.R. 1962; December: 825-8.
- 5) Lorig TS: The application of electroencephalographic techniques to the study of human olfaction. a review and tutorial. *Int J Psychophysiol* 2000; 36: 91-104.
- 6) 小野田法彦: 嗅覚中枢経路とニオイ応答. *JOHNS* 2000; 16(5): 708-14.
- 7) Hjorth B, Robin E: Extraction of deep components from scalp EEG. *Brain Topogr* 1988; 1: 65-9.
- 8) Lorig TS & Schwartz GE: Brain and odor. I. Alteration of human EEG by odor administration. *Psychobiology* 1988; 16(3): 281-4.
- 9) Klemm WR, Lutes SD, Hendrix DV, et al: Topographical EEG maps of human responses to odors. *Chem Senses* 1992; 17(3): 347-61.
- 10) 山口明子, 古賀良彦, 藤村明子, 他: 布地からの脱離臭が脳波基礎活動に与える影響. *日本味と匂学会誌* 1994; 1(3): 486-9.
- 11) Martin GN: Human electroencephalographic (EEG) response to olfactory stimulation. Two experiments using the aroma of food. *Int J Psychophysiol* 1998; 30: 287-302.
- 12) 大熊輝雄: 脳波の分類と記載. 正常脳波. 臨床脳波

- 学. 医学書院, 東京, 1999, 77-135頁.
- 13) Toller SV, Behan J, Howells P, et al: An analysis of spontaneous human cortical EEG activity to odour. *Chem Sense* 1993; 18: 1-16.
- 14) 古賀良彦, 竹中博人: 香料が脳機能に与える影響—精神生理学的検討—. *フレグランスジャーナル* 1989; 9: 20-7.
- 15) 藤田憲一, 修多羅巧和, 竹中博人, 他: ウィスキーの香りが脳機能にあたえる影響—背景脳波と事象関連電位による検討—. 第25回味と匂のシンポジウム論文集 1991: 49-51.
- 16) 修多羅巧和, 藤田憲一, 竹中博人, 他: ウィスキーの香りが脳機能にあたえる影響の電気生理学的検討. 第26回味と匂のシンポジウム論文集 1992: 75-81.
- 17) Hwi KK, Goto M, and Matsunami K: The effect of aromatic oils on the EEG. *Elsevier Science BV* 1998: 1068-74.
- 18) 沢田和彦, 小山エリ, 窪田正男, 他: 香りの脳波に対する影響. 第25回味と匂のシンポジウム論文集 1991: 37-40.
- 19) Brauchli P, Rüegg PB, Etzweiler F, et al: Electro-cortical and autonomic alteration by administration of a pleasant and unpleasant odor. *Chem Senses* 1995; 20: 505-15.
- 20) 市原正雄, 小松 晃, 市原文彦, 他: 嗅刺激による脳波の諸反応について. *耳喉* 1963; 35: 719-28.
- 21) Schwartz GE, Wright KP, Polak EH, et al: Topographic EEG mapping of conscious and unconscious odors. *ASChS XIV abstracts* 1992: 695.
- 22) Torii S, Okazaki Y, and Winchester JD: EEG topography of affective response to odor. *Olfaction and Taste XI*, ed. by Kurihara K, Suzuki N, Ogawa H Springer-Verlag 1994: 646-9.
- 23) 丹羽 真一: 脳波. *CLINICAL NEUROSCIENCE* 1993; 11(10): 69-72.
- 24) Lorig TS, Herman KB, and Schwartz GE: EEG activity during administration of low-concentration odors. *Bull Psychonom Soc* 1990; 28(5): 405-8.
- 25) Tonoike M, Yamaguchi M, Nakayama N, et al: Brain topography study of aromacological relaxation using EEG and MEG. *Topography Today*, ed. by Koga Y, Nagata K, Hirata K Elsevier Science BV 1998: 733-9.
- 26) Zatorre RJ, Jones-Gotman M, Evans AC et al: Functional localization and lateralization of human olfactory cortex. *Nature* 1992; 360(6402): 339-40.
- 27) Koizuka I, Yano H, Nagahara M et al: Functional imaging of the human olfactory cortex by magnetic imaging. *ORL* 1994; 54(5): 273-5.
- 28) Zald DH, Pardo JV: Emotion, olfaction, and the human amygdala: amygdala action during aversive olfactory stimulation. *Proc Natl Acad Sci USA* 1997; 94(8): 4119-24.

(2007年12月10日受稿, 2008年2月23日受理)

別刷請求先: 力丸 文秀

〒814-0180 福岡市城南区七隈7丁目45番1号

福岡大学医学部耳鼻咽喉科学教室

TEL: 092-801-1011 FAX: 092-863-3387