

# 瞳孔振動と心拍変動を用いた香りが自律神経に及ぼす影響

国際医療福祉大学保健医療学部視機能療法学科

鎌田 泰彰

This study aims to evaluate the effects of fragrance on the autonomic nervous system using pupillary oscillation and heart rate variability. Participants included 22 healthy young adults (mean age  $21.8 \pm 1.4$  years, 11 females). The experiment was performed for 5 minutes, and pupillary oscillation and heart rate variability were measured. We analyzed 1 minute of rest (rest), 1 minute of olfactory stimulation with lavender or grapefruit essential oil (olfactory stimulation), and up to 3 minutes after stimulation for residual effects (1, 2, and 3 mins after stimulation). Pupillary oscillation was measured with an infrared pupilometer ET-200 (Newopto) and heart rate variability was measured with a Reflex Meijin system (Crosswell). Pupillary oscillation data were subjected to frequency analysis, and the power spectrum was obtained. To measure heart rate variability, high (HF) and low frequency (LF) components were determined, and cardiac parasympathetic nerve indices (HF, HFnu) and cardiac sympathetic nerve indices (LF/HF, LFnu) were calculated. Regarding pupillary oscillation, the power spectrum of 0.25 Hz increased accordingly with the increase of the cardiac parasympathetic index. Regarding heart rate variability, lavender essential oil increased HF and HFnu and grapefruit essential oil decreased HF 3 mins after stimulation. The fragrances produced changes in pupillary oscillation and heart rate variability, which may be useful as objective evaluation indices of autonomic function.

## 1. 緒言

香りのような感覚刺激は個人の経験や記憶、嗜好等により感受性が異なり、自覚的な評価だけでは平均化が困難である。そのため、香りによる影響を検討するためには生体反応を客観的に評価できる指標が必要である。

香りを感知する嗅上皮にはアドレナリン受容体やムスカリン受容体が存在し、香り刺激が自律神経系の亢進や抑制に関与することが考えられている。香り成分が鼻腔内に入ると、鼻腔・嗅細胞に受容され大脳辺縁系へ刺激が伝達される。刺激は大脳辺縁系で過去の経験や記憶と照合され情動・情緒が惹起される。その情報は視床下部へ伝達され、副交感神経系もしくは交感神経系が活性化する。よって、香りによる生体反応を客観的に評価するためには自律神経反応を捉えられる指標が有用となる可能性がある。

これまでに香りが自律神経系に及ぼす影響については、心拍変動を客観的な評価指標として用いた報告がされている<sup>1)</sup>。心拍は自律神経によって拮抗的に支配されており、心拍変動解析をすることで副交感神経系、交感神経系のどちらが優位であるかを捉えることができる。また、自律神経反応を客観的に評価できる眼組織に瞳孔がある。瞳孔は瞳孔括約筋と瞳孔散大筋の働きによりその径が変化する。この2つの筋はそれぞれ異なる自律神経機能を有し、副交感神経

系が優位となると瞳孔は縮小、交感神経系が優位となると散大する。このことから、瞳孔は自律神経反応を評価する際にしばしば用いられる。瞳孔の観察は古くから心理学の応用にも用いられており、刺激によって惹起される感情・情緒に瞳孔の大きさが関連することが報告されている<sup>2)</sup>。また、瞳孔は常に一定のリズムで縮小、散大を繰り返している。このような瞳孔のゆらぎは瞳孔振動と呼ばれ、生体の覚醒状態やリラックス、疲労、ストレスの評価への応用が考えられている。既報では瞳孔のゆらぎと主観的な眠気に関連がある<sup>3-5)</sup>こと、眠気を感じると瞳孔は縮小しそれに伴い大きなゆらぎが起こる<sup>6)</sup>ことを報告している。これは、覚醒状態から低覚醒に移行する際に副交感神経の活性化による瞳孔の縮小と、低覚醒状態と覚醒状態を維持しようとする意識の繰り返しが副交感神経・交感神経の周期的な亢進・抑制を引き起こし、瞳孔のゆらぎが発生するためとされている。このことから、瞳孔振動と心拍変動は自律神経反応を客観的に評価でき、香りによる生体反応を検討できる指標として応用できる可能性がある。

本研究では瞳孔振動と心拍変動を客観的な評価指標に用い、香りが自律神経系に及ぼす影響について検討した。

## 2. 方法

本研究は国際医療福祉大学倫理審査委員会(承認番号21-Io-3)の承認を得て実施した。対象は青年健常者22名(平均年齢 $20.8 \pm 0.7$ 歳、男性11名、女性11名)とした。除外基準は呼吸器疾患等の器質的な疾患、嗅覚刺激が阻害される症状(鼻汁、鼻閉等)、嗅覚刺激に対する過敏性(気分不快感、アレルギー等)、妊娠または授乳中の女性とした。被験者には実験前日からのアルコール、カフェインの摂取、激しい運動を制限し、十分な睡眠をとるように指示し



The effects of fragrance on the autonomic nervous system using pupillary oscillation and heart rate variability

Yasuaki Kamata

Department of Orthoptics and Visual Sciences, School of Health Sciences, International University of Health and Welfare

た。また、実験当日は実験2時間前からの飲食、香水やボディクリーム、整髪料等の嗅覚に影響を与えるものの使用を禁じた。

実験は光による瞳孔への影響を排除するため完全暗室で行った。また、自律神経への影響を考慮し、室温26℃、湿度60%、静音環境が保たれた部屋で行った。被験者への呼吸の指示は、呼吸制御による瞳孔、心拍への影響を考慮し自然呼吸とした。測定時間は9時から12時の間とした。

被験者は入室後、座位にて瞳孔計測用ゴーグル、心拍変動測定用電極を装着し、実験開始まで5分の安静時間を確保した。実験開始と同時に瞳孔と心拍変動の測定を開始し、実験が終了するまで連続記録した。瞳孔と心拍変動の測定は計5分間行った。実験開始から1分までは安静状態とし、この時のデータを基準値として用いた(安静)。実験1分から2分までの間に精油による嗅覚刺激を1分間負荷した(嗅覚刺激)。嗅覚刺激は精油をガーゼに約0.3ml滴下したものを袋に入れて被験者に提供し、鼻と口を十分に覆った状態で嗅ぐよう指示した。1分間の嗅覚刺激負荷後、香りの残効を調べるために実験開始2分から5分まで測定を継続した(刺激後1分、刺激後2分、刺激後3分)。残効を調べている間は、嗅覚刺激の影響がないよう袋を密閉した。最後に嗅覚刺激の自覚的な好みの度合いについてアンケートを行った。

## 2. 1. 嗅覚刺激

嗅覚刺激による自律神経系の変化を捉えた報告に、リナロールを主成分とした香りは副交感神経系が活性化させること、リモネンを主成分とした香りは交感神経系を活性化させることが報告されている<sup>7)</sup>。本研究ではリナロール、リモネン成分を多く含む、ラベンダー精油(リナロール含有率40.2%)、グレープフルーツ精油(リモネン含有率94.97%)(生活の木)の2種を嗅覚刺激に用いた。2種類の嗅覚刺激の順序は被験者ごとにランダムとし、異なる嗅覚刺激を与える場合は1日以上の間隔をあけた。

## 2. 2. 心拍変動

心拍変動の測定にはReflex名人(クロスウェル)を用いた。心電図の位置は第Ⅱ誘導で導出した。心拍変動は心電図のR-R間隔から記録し、サンプリング周波数は1000Hz、周波数の解析時間は30秒とした。周波数解析により、高周波成分(High frequency: HF)は0.15-0.40Hz、低周波成分(Low frequency: LF)は0.04-0.15Hzで算出した。算出した周波数成分から心自律神経指標として、HFを心副交感神経指標、LF/HFを心交感神経指標に用いた。また、心拍変動で得られる周波数成分は個人差が大きくデータの比較に留意する必要があるため、Adachiらの報告<sup>8)</sup>を参考に周波数成分を標準化(normalized unit: nu)

した値も算出した。標準化に用いた計算式を以下に示す。求めたHFnuを心副交感神経指標、LFnuを心交感神経指標とし、HF、LF/HFとあわせて検討した。

$$\text{HFnu}(\%) = \text{HF} / (\text{LF} + \text{HF}) \times 100$$

$$\text{LFnu}(\%) = \text{LF} / (\text{LF} + \text{HF}) \times 100$$

## 2. 3. 瞳孔振動

測定機器には赤外線電子瞳孔径ET-200(Newopto)を用い、瞳孔の横径を連続記録した。連続記録中の瞬目による欠損データは、瞬目前後の瞳孔径のデータで補正した。瞳孔径のデータは、高速フーリエ変換を用いた周波数解析でパワースペクトルを求めた。

## 2. 4. アンケート

自覚的な香り好みの度合いについてはVisual Analogue Scale(VAS)を用い定量化した。VASの目盛は0~100までとし、0を「今まで嗅いだ香りの中で最も嫌い」、100を「今まで嗅いだ香りの中で最も好き」と設定した。また、口頭でも嗅覚刺激についての好みを「とても好き」「好き」「どちらでもない」「嫌い」「とても嫌い」の5段階で回答させた。

## 2. 5. 解析方法

各パラメータは中央値(四分位範囲)で示す。心拍変動、瞳孔振動のデータはそれぞれ1分ごとに解析を行った。安静に対し、嗅覚刺激、刺激後1分、刺激後2分、刺激後3分の各パラメータをそれぞれ比較した。統計解析にはWilcoxonの符号順位検定を用いた。多重比較にはBonferroni法を用いた。有意水準は危険率5%未満とした。

# 3. 結果

## 3. 1. ラベンダー精油(図1、2)

心拍変動解析において安静、嗅覚刺激、刺激後1分、刺激後2分、刺激後3分の心副交感神経指標はそれぞれ、HFで149.7(75.3-344.3)、202.9(120.0-587.7)、138.5(91.2-259.0)、137.4(100.4-274.8)、111.7(86.3-237.6)、HFnuで33.9(20.1-39.0)、41.4(33.7-50.2)、32.0(24.1-43.2)、30.4(18.0-46.6)、40.6(29.7-56.5)であった。心交感神経指標はそれぞれ、LF/HFで2.3(1.6-3.6)、1.5(0.8-2.0)、1.9(1.4-3.2)、1.7(1.1-4.1)、1.5(0.7-2.5)、LFnuで66.1(61.0-79.9)、58.6(49.8-66.3)、68.0(56.8-75.9)、69.6(53.4-82.0)、59.4(43.5-70.3)であった。心副交感神経指標において、HFは安静に比べ嗅覚刺激、HFnuは安静に比べ刺激後3分で増大した( $p < 0.05$ )。心交感神経指標において、LF/HF、LFnuともに安静に比べ刺激後3分で減少した( $p < 0.05$ )。瞳孔は心副交感神経指標の増大がみられた嗅覚刺激で縮小し、刺激後3分に振動の増大がみられた。周波数解析では副交感神経指標の増大

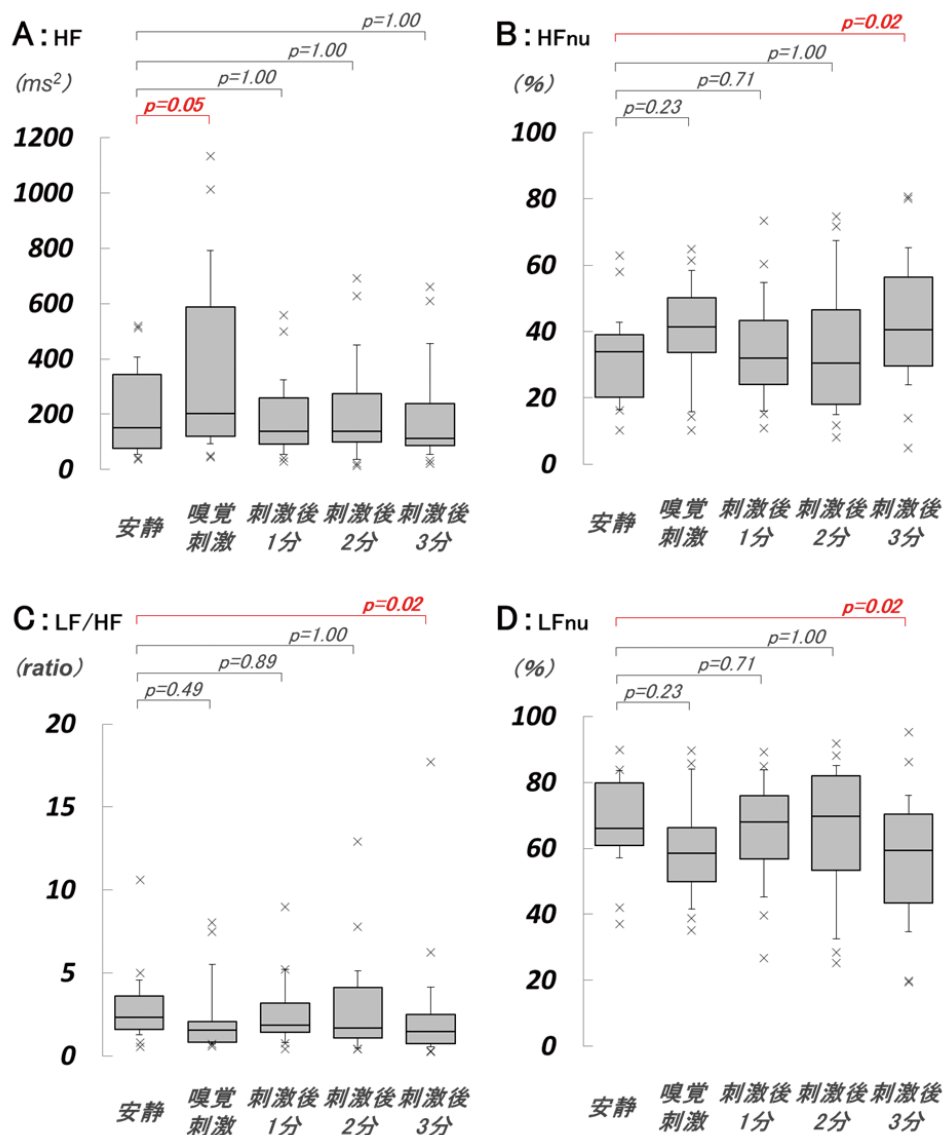


図1 ラベンダー精油による心拍変動  
心副交感神経指標HF (A)、HFnu (B)、心交感神経指標LF/HF (C)、LFnu (D) の結果を示す。安静に比べ嗅覚刺激で心副交感神経指標HFが増大、刺激後3分で心副交感神経指標HFnuが増大、心交感神経指標LF/HF、LFnuが減少した。

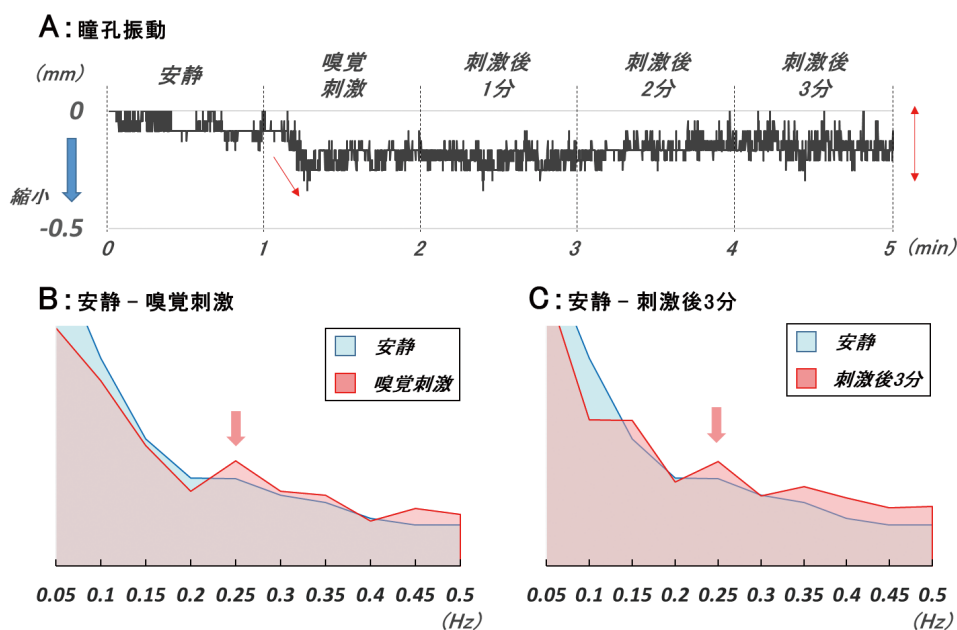


図2 ラベンダー精油による瞳孔振動  
瞳孔振動(A)、心副交感神経指標の増大した嗅覚刺激と刺激後3分のパワースペクトルを示す(B、C)。嗅覚刺激で瞳孔は縮小し、刺激後3分に振動の増大がみられた。嗅覚刺激、刺激後3分ともに安静に比べ0.25Hzのパワースペクトルが増大した。



した嗅覚刺激、刺激後3分で、安静に比べ0.25Hzのパワースペクトルの増大がみられた。自覚的な香りの好み度合いはVASで62.0(49.3-73.5)であった。また、22名中、5名(23%)が「とても好き」、8名(36%)が「好き」、4名(18%)が「どちらでもない」、5名(23%)が「嫌い」と回答した。

### 3. 2. グレープフルーツ精油 (図3、4)

心拍変動解析において安静、嗅覚刺激、刺激後1分、刺激後2分、刺激後3分の心副交感神経指標はそれぞれ、HFで151.7(94.5-333.7)、274.3(113.6-498.4)、151.7(100.0-276.1)、125.2(61.4-255.4)、134.4(58.6-223.9)、HFnuで38.2(25.9-46.0)、42.3(18.9-55.6)、35.5(26.7-49.2)、29.9(17.3-44.5)、32.7(19.2-49.0)であった。心交感神経指標はそれぞれ、LF/HFで1.7(1.2-3.2)、1.4(0.8-3.6)、1.5(1.0-3.5)、2.1(1.3-4.4)、2.2(1.0-3.9)、LFnuで61.8(54.0-74.1)、57.7(44.4-81.1)、64.5(50.8-73.3)、70.1(55.5-82.7)、67.3(51.0-80.8)であった。心副交感神経指標において、HFは安静に比べ嗅覚刺激で増大、刺激後3分で減少した( $p < 0.05$ )。心交感神経指標は、LF/HF、LFnuともに有意な差はみられなかった。瞳孔は心副交感神経指標の増大がみられた嗅覚刺激で縮小した。周波数解析では心副交感神経指標の増大した嗅覚刺激で安静に比べ0.25Hzのパワースペクトルの増大がみられたが、心副交感神経指標の減少した刺激後3分ではパワースペクトルに変化はみられなかった。自覚的な香りの好み度合いはVASで69.0(63.3-81.3)であった。また、22名中、9名(41%)が「とても好き」、10名(45%)が「好き」、3名(14%)が「どちらでもない」と回答した。

### 3. 3. 無臭刺激 (図5)

プラセボ効果を検証するため、無臭刺激で同様の実験を行った。対象は22名の被験者から無作為に選択した10名(平均年齢 $21.5 \pm 1.1$ 歳、男性5名、女性5名)とした。心拍変動において安静、無臭刺激の心副交感神経指標はそれぞれ、HFで105.0(39.2-180.5)、78.4(54.6-180.7)、HFnuで22.1(15.3-35.1)、22.0(11.4-30.9)であった。心交感神経指標はそれぞれ、LF/HFで3.5(2.0-6.5)、3.7(2.8-9.5)、LFnuで77.9(64.9-84.7)、78.0(69.1-88.6)であった。心拍変動解析において、いずれの指標も安静に比べ無臭刺激で有意な変化はみられなかった。瞳孔は安静から無臭刺激にかけて僅かに縮小傾向がみられるも、周波数解析によるパワースペクトルに変化はみられなかった。

## 4. 考 察

嗅覚刺激が自律神経活動に与える影響として、ラベンダー精油は副交感神経系、グレープフルーツ精油は交感神経系を活性化させることが報告されている<sup>7)</sup>。これらの変化

は、ラベンダー精油に含まれるリナロール、グレープフルーツ精油に含まれるリモネンの影響であることが考えられている。嗅覚刺激を用いて指尖温度を調べた報告では、嗅覚刺激5分後にラベンダー精油で温度が低下、グレープフルーツで温度が上昇し、この結果は芳香分子の薬理作用によるものとしている<sup>9)</sup>。本研究において、嗅覚刺激後3分にラベンダー精油では心副交感神経指標の増大がみられ、グレープフルーツ精油では心副交感神経指標の減少がみられた。これは既報と同様に、ラベンダー精油に含まれるリナロールの薬理作用が心副交感神経指標を活性化させたと考えられる。また、ラベンダー精油で心交感神経指標の減少、グレープフルーツ精油で心副交感神経指標の減少がみられたことは、それぞれの成分が自律神経系を活性化させ恒常性を保つための反応と思われた。一方、ラベンダー精油とグレープフルーツ精油のどちらも安静に比べ嗅覚刺激で心副交感神経指標の増大がみられた。この異なる結果について、プラセボ効果による自律神経系への影響を無臭刺激にて検証した。その結果、心拍変動の結果では安静から無臭刺激で自律神経指標の活性はみられなかった。よって、心副交感神経指標の増加は嗅覚刺激を負荷したことによる反応であると考えられた。次に嗅覚刺激の自覚的な香りの好み度合いに着目した。VASの結果ではラベンダー精油、グレープフルーツ精油ともに嗅覚刺激を好む被験者が多かった。また口頭でのアンケートでは、ラベンダー精油よりもグレープフルーツ精油の方が好みであると回答した被験者が多くみられた。グレープフルーツ精油は交感神経系の活性化が考えられているが、浅野ら<sup>9)</sup>はラベンダー精油、グレープフルーツ精油の嗅覚刺激直後、両刺激ともに一時的な体温低下がみられたことから、嗅覚刺激によってストレス緩和、リラックス効果が生じ一過性の心理作用が働く可能性を報告している。また、ラベンダー精油は降圧作用があると考えられているが、ラベンダー精油の香りに肯定的な群では血圧の低下がみられたのに対し、否定的な群では上昇したとの報告もあり<sup>10)</sup>、香りが自律神経に及ぼす影響には薬理作用だけではなく嗜好の影響も大きいことが考察されている。本研究においても、用いた嗅覚刺激がどちらも好まれる傾向にあったことから嗅覚刺激による一過性の心副交感神経指標の増大が心拍変動に表れた可能性がある。

瞳孔振動において、ラベンダー精油、グレープフルーツ精油ともに嗅覚刺激で瞳孔の縮小がみられた。また、ラベンダー精油刺激後3分では瞳孔の振動が増大した。周波数解析では心副交感神経の増大がみられたラベンダー精油の嗅覚刺激、刺激後3分、グレープフルーツ精油の嗅覚刺激で0.25Hzのパワースペクトルの増大がみられた。一方、心副交感神経指標が減少したグレープフルーツ精油刺激後3分では、パワースペクトルに変化はみられなかった。ク

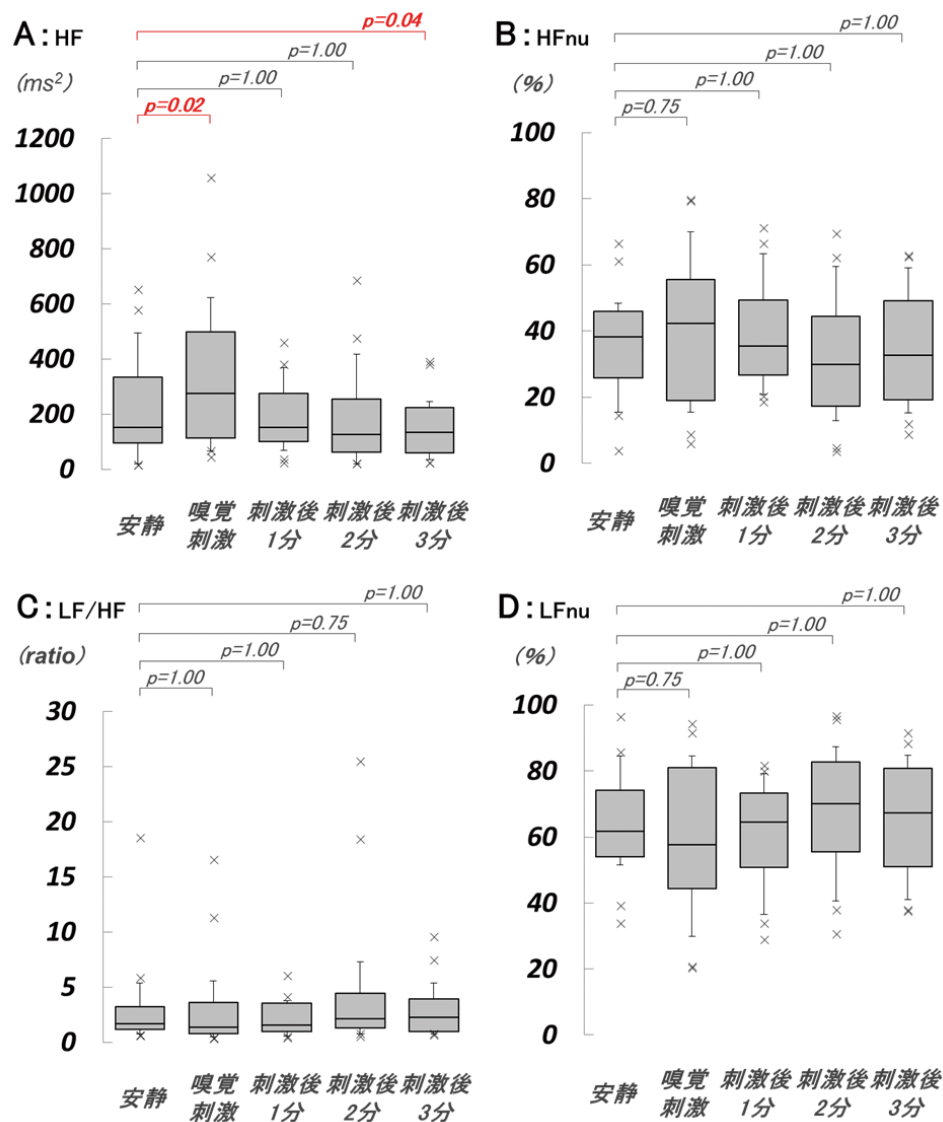


図3 グレープフルーツ精油による心拍変動  
心副交感神経指標HF (A)、HFnu (B)、心交感神経指標LF/HF (C)、LFnu (D) の結果を示す。心副交感神経指標HFは安静に比べ嗅覚刺激で増大、刺激後3分で減少した。

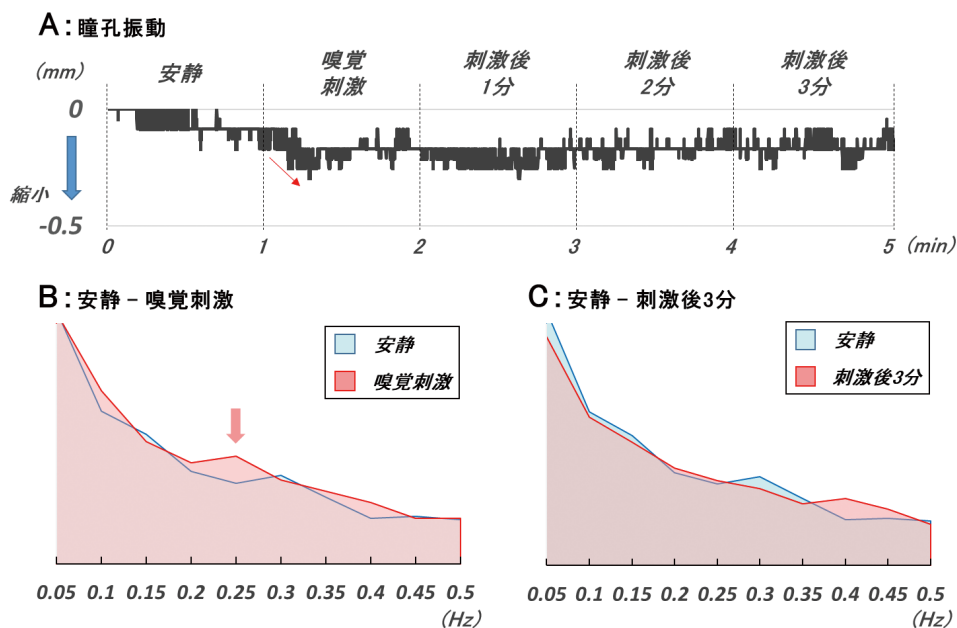


図4 グレープフルーツ精油による瞳孔振動  
瞳孔振動(A)、心副交感神経指標の増大した嗅覚刺激と減少した刺激後3分のパワースペクトルを示す(B, C)。嗅覚刺激で瞳孔は縮小し、安静に比べ0.25 Hzのパワースペクトルが増大した。一方、刺激後3分でパワースペクトルの変化はみられなかった。

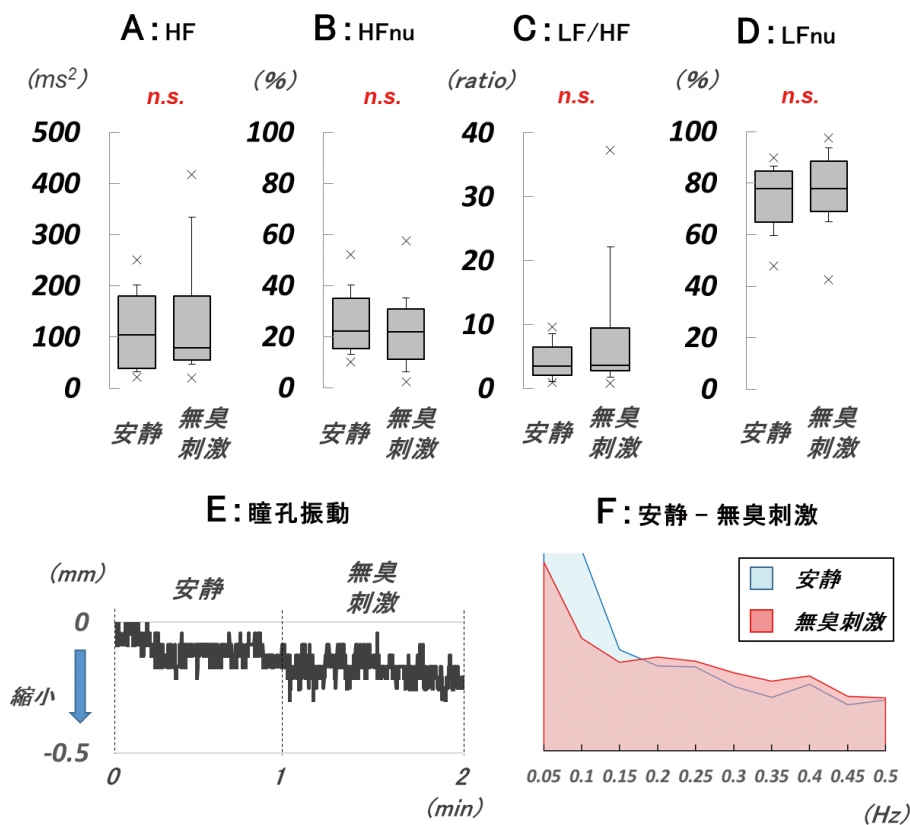


図5 無臭刺激による心拍変動と瞳孔振動  
心副交感神経指標HF(A)、HFnu(B)、心交感神経指標LF/HF(C)、LFnu(D)、瞳孔振動(E)、パワースペクトル(F)を示す。心拍変動、瞳孔振動ともに変化はみられなかった。

ラシック音楽を聴覚刺激に用いた報告では、リラックス状態を反映する副交感神経系の活性化、瞳孔の縮小、0.25Hzの瞳孔振動が増大したことが報告されている<sup>11)</sup>。本研究においても、嗅覚刺激による心副交感神経指標の増大で瞳孔の縮小、0.25Hzのパワースペクトルの増大がみられた。よって、瞳孔振動は香りによる心副交感神経系の反応を客観的に捉えられる指標となることが考えられた。

## 5. 総 括

瞳孔振動と心拍変動は、香りが自律神経に及ぼす影響について客観的な評価指標となることが示唆された。この結果は、コスメトロジー分野において香りの好みの定量化や、香りが生体に及ぼす影響を検討するための一助となる可能性がある。

### (引用文献)

- 1) Duan X, Tashiro M, et al. Autonomic nervous function and localization of cerebral activity during lavender aromatic immersion. *Technol Health Care*. 15. 69-78. 2007.
- 2) E H HESS, J M POLT. Pupil Size as Related to Interest Value of Visual Stimuli. *Science*. 5. 349-350. 1960.
- 3) B Wilhelm, H Giedke, et al. Daytime Variations in Central Nervous System Activation Measured by a Pupillographic Sleepiness Test. *J Sleep Res*. 10. 1-7. 2001.
- 4) H Wilhelm, H Lüdtke, et al. Pupillographic Sleepiness Testing in Hypersomniacs and Normals. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 236. 725-729. 1998.
- 5) H Lüdtke, B Wilhelm, et al. Mathematical Procedures in Data Recording and Processing of Pupillary Fatigue Waves. *Vision Res*. 38. 2889-2896. 1998.
- 6) 西山 潤平, 谷田 公二, 他. 瞳孔ゆらぎを指標とした覚醒度状態評価. *生体医工学*. 46. 212-217. 2008.
- 7) 永井 克也. 嗅覚と聴覚の刺激による自律神経変化 - 体内時計とヒスタミン神経系の関与 -. *Equilibrium Res*. 71. 207-213. 2012.
- 8) Adachi T, Sert-Kuniyoshi FH, et al. Effect of weight gain on cardiac autonomic control during wakefulness and sleep. *Hypertension*. 57. 723-730. 2011.
- 9) 浅野 智絵美, 伊藤 輝子, 他. グレープフルーツおよびラベンダーの匂い刺激による生理・心理機能への影響. *日味と匂会誌*. 16. 633-636. 2009.
- 10) 森 広子, 小林 章子, 他. 精油の香りと嗜好が健常人の血圧・脈拍に及ぼす影響. *日補完代替医療会誌*. 6. 137-142. 2009.
- 11) 原 直人. ストレス評価としての瞳孔機能. *視覚の科*. 33. 47-51. 2012.