

味覚刺激による自律神経機能の反応について (第1報) 光電脈波による末梢循環の解析

島村 宗夫, 星野 かほり

(平成8年9月30日受理)

Non-Invasive Measurements of Autonomic Nervous Phenomena Induced by Taste Stimuli Part 1 Photoelectric Plethysmographical Analysis of Peripheral Circulation Induced by Taste Stimuli

Muneo SHIMAMURA and Kaori HOSHINO

(Received September 30, 1996)

はじめに

味覚の他覚的評価は脳内の神経細胞の活動電位の記録などによって行われているが¹⁾, 他の感覚と同様に, 本人の意志表示による以外にいまだ困難である。

食物摂取により, 種々な代謝活動も高まり, 熱の産生のあることは, 特殊動的作用などとして知られているところであり, 食事のうまいまずいによって, 消化吸収にも影響が及んでいることも, また食物の種類によって, 唾液の分泌も高まることなども知られている。これらの活動は自律神経系及びホルモンの働きによるわけである²⁾。自律神経機能は全身に及ぶ反応であり, 多くは, 例えば胃腸の働きなど身体内部に存在する。従ってその検査にあたって, 被験者に何らかの苦痛を与えることになり, また複雑な操作を必要とする。

そこで今回はできるだけ個人に負担をかけない, 無侵襲な方法³⁾の一つとして, 末梢循環の血行動態を光電脈波法を用い, 耳介, 指尖部, 前腕部から, 脈波の波高と共に容積の変化を調べた。味覚刺激によって末梢毛細血管の収縮など, 循環に一過性的変化が現れ, 味覚の種類差, 個人差, 部位差などもみられたので, それらの実態について報告することとする。

実験方法及び測定項目

1. 実験対象

本学家政学部4年生及び大学院生の, 健康女子学生9名(年齢21才~25才)を対象とし, 実験の目的, 方法について充分理解したうえで, お互いを被験者として実験を行った。実験時において, 被験者は味覚刺激の誤差となる要因を除去する目的で, あらかじめ実験開始前にうがいさせた。服装は, 腕などを締め付ける物は, 血行に影響するため脱衣してもらうようにした。

2. 実験室の環境

被験者は安楽椅子に座位とし, 周囲からの影響を, できる限り少なくするため, カーテン及びついたてなどで囲い, また記録者などの様子が気にならないように注意を払った。室内の温度は温熱性発汗が起こらなく, また寒さを感じないように, 24~28℃とした⁴⁾。

生体の微弱な変化を, 電気的に測定するため, 大きな電氣的雑音(交流など)を除去する必要がある。そこで, 被験者が座る椅子の下に, 薄い銅板(95cm×200cm)を敷き, 床を這ってくる漏洩電流を吸収し, それを接地した。

また, 味覚刺激後, 被験者が座ったまゝうがいをできるように, ホースに口径15cmのロートを取り付け, アスピレーターにつなぎ, 排水用とした。椅子の肘掛けにはスポンジのように, 熱の伝導性のなるべく低い物を貼り,

体の保温に注意した。

3. 測定項目

① 脈波 (plethysmogram : PTG)

末梢の血行動態を調べるため、光電脈波用 (photo-electric plethysmography) トランスジューサー3個を用い、耳介、指尖、前腕に装着した。指尖と前腕には反射型のピックアップを、耳介には透過型のピックアップを用いた。それぞれの脈波の波高、基線動揺について調べたが、次項で述べる脳波計の時定数を0.1秒と3.0秒の2種類として記録した。

② 心電図 (electrocardiogram : ECG)

左右前腕に、1対の心電図用電極を装着し(四肢第一誘導)、心電図を導出した。時定数は1.5秒、感度は1mVを5mmに振れる程度であった。波形の変化及びR-R間隔の変化を測定した。増幅記録には脳波計(日本電気三栄製、1A64型)を色々改良しポリグラフ的に用いた。HUMの混入を防ぐため、Humfilterを用いた。増幅度は現象が最も見やすい状態になるよう適当に調節した。

紙送りのスピードは、主に1.5cm/secとしてペン書記録を行った。

4. 刺激の種類

味覚刺激としては次の5種類とした。甘味、酸味、塩味、苦味、辛味これら以外に、暗算、連想、音刺激なども用いた。溶液の濃度はそれぞれ、一般に味覚検査で用いられるものとし⁸⁾、20%蔗糖溶液、2%酢酸液、10%食塩水、0.5%塩酸キニーネとした。辛味については、市販のタバスコを蒸留水で希釈したものを用いた。舌上への滴下は3mlのディスポーザブルスポイトを用い2~3滴であった。味覚刺激の後はそれぞれの刺激毎に、蒸留水で充分うがいさせた。

5. 血流遮断試験について

脈波変動と末梢の血流量との関係を見るため、血圧計(リバ・ロッチRiva-Rocci型水銀血圧計)を用い、上腕部に圧迫帯(manchette)を巻き付け、加圧し、指尖部、前腕部の脈波及び上腕動脈の心音トランスデューサーによる血管音並びに心電図を記録した。この記録と

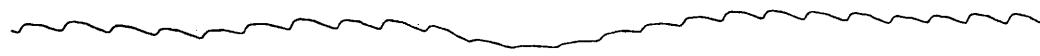
耳介 0.1s



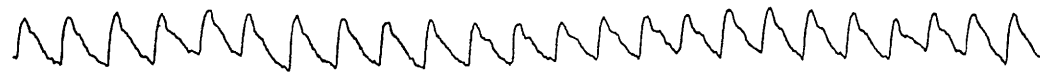
指尖 0.1s



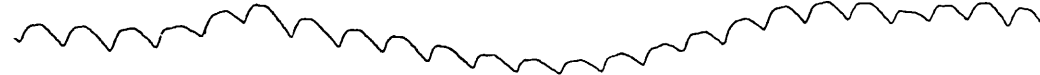
3.0s



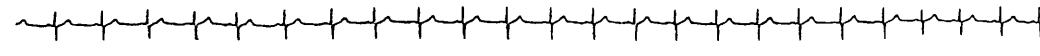
前腕 0.1s



3.0s



心電図 四肢第一誘導



塩味

1s

図1 味覚刺激による脈波、心電図のポリグラフ

10%食塩水1滴を舌上に滴下した際の脈波及び心電図のペン書同時記録である。脈波は耳介、指尖、前腕の3カ所から記録し、時定数は0.1秒と3.0秒の2種類とした。波高の減少(0.1)と基線の動揺(3.0)とがみられている。心電図には一過性のR-R間隔の短縮が見られるが、波形の変化は見られない。前腕部の記録は他のものに比べ8倍に感度をあげてある。時間軸は1秒を示す。

同時に水銀マンノメーターの目盛りを直読し、記録紙に記入した。

6. 実験手順

刺激の順序としては、先ず、暗算、連想、音刺激などを与え被験者を慣れさせ、その後、味覚刺激を行った。味覚刺激の順序は原則的にランダムに行ったが、苦味、辛味などは口内へかなり残り、他の甘、塩、酸などの味が影響を受け易いので、甘味、塩味、酸味などの後に二つの順を変えて滴下を行った。

刺激の間隔としては、暗算、連想などは刺激負荷による反応がおさまリ、しばらく安定した状態が続いた後に次の刺激を加えた。味覚刺激の場合には、開口時の変動がおさまるのを待って味覚刺激を加えるようにした。刺激後30~40秒間記録した後うがいさせ、前の影響がなくなったとみられる数分後に次の刺激を加えるようにした。

成 績

1. 味覚刺激による脈波のポリグラフについて

図1は22歳健康女性性の記録の一例である。塩味刺激による、耳介、人差指、前腕からの脈波（PTG）、及び、心電図（ECG）の反応である。波高（0.1秒）は減少が数秒後にみられ、最低となり、10秒前後で元に戻っている。これらの変化は指尖で著明であり、基線（3.0秒）は、指尖と前腕で波高の低下とはほぼ一致して共に下降し、10秒前後で元に復している。なおここには示していないが、耳介からのPTGの基線動揺はあまり著明ではなかった。心電図は波形の変化は殆どみられず、R-R間隔に若干の短縮がみられたのみであった。それも4~5心拍のみであった。

これらの反応を数的に取り扱い、パソコンによるグラフ化のため次の基準によって計測した。脈圧（波高）は個々の脈波の立ち上がりからピークまでの高さを、時間軸に対して垂直に計測した。基線動揺の計測は、個々の波形の立ち上がりの部分と基準線との距離を測った。基準線は刺激前の平均的な位置に仮の平行線を引いて、それからの距離を測ったわけである。

2. 味覚刺激に対する脈波の変動について

各刺激における変動をポリグラフから計測し、グラフ化した同一被験者の各一例を図2~7に示す。

1) 塩味（図2）

食塩水滴下による変化は指尖において著明で、刺激後、

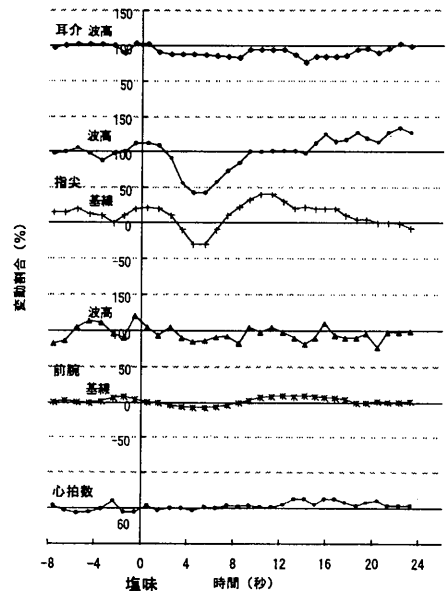


図2 塩味刺激による脈波の波高と基線の動揺及び心拍数の変化について

図1と同一被験者についての脈波の波高及び、基線動揺を計測しグラフ化したものである。波高はコントロールを100とし、動揺を%で表し、基線動揺はコントロールを0とし、上方への動揺を+下方への動揺は-として表した。時間は刺激点を基準に秒で表した。

心拍数にして2拍動目から顕著な波高の減少が観察され、4秒後には最低となり、それは無刺激時の半分以下にも達した。その後は回復し、9~10秒で元の値に戻った。耳介・前腕での波高の変化は少なく、わずかに耳介にみられるが、減少の程度は小さく、減少から回復までが長時間のゆっくりとした変動であった。

基線の動揺は、波高の振幅減少とはほぼ同時に、また同じ経過で下降が出現している。この場合にも指尖で著明で、前腕でも変動はみられるが、下降、続いての上昇という変動であった。ここには示していないが別の記録から、耳介での基線動揺はわずかであった。心拍数には殆ど変化はみられなかった。

このような脈波の変化は9名の被験者のうち1名を除いて全例にみられた。

2) 甘味（図3）

蔗糖液滴下による波高の振幅変動では、耳介での変化はほとんど観察されず、指尖、前腕において刺激直後より減少が生じ、特に指尖では著明で継続時間も長かった。

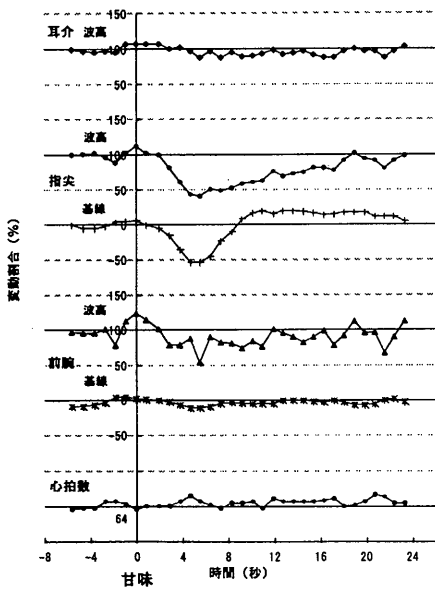


図3 甘味刺激による脈波の波高と基線の動揺及び心拍数の変化について

20%蔗糖液を舌上に滴下した際の変化を示す。縦軸、横軸は図2と同じである。

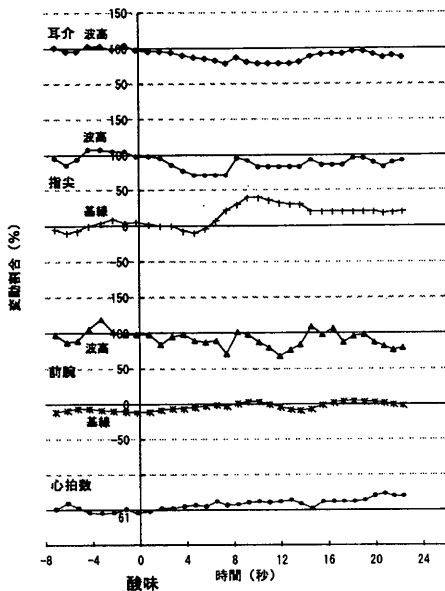


図4 酸味刺激による脈波の波高と基線の動揺及び心拍数の変化について

2%酢酸水を舌上に滴下した際の変化を示す。縦軸、横軸は図2と同じである。

基線は指尖では波高の減少とほぼ同時に下降が起こり、また回復も殆ど同時であった。前腕では不規則であったが、基線の下降がみられている。心拍数は一過性に増加がみられたが軽微であった。

このような反応は被験者全員にみられたわけではなく、半数の例では反応は軽微であった。

3) 酸味 (図4)

酢酸水滴下による波高の変化は耳介、指尖、前腕ともに軽度の減少であった、指尖での変化もあまり強く出現せず、耳介においてはわずかな、また、ゆっくりとした波高の減少がみられたにすぎなかった。

基線はあまりはっきりとした変動を示さなかったが、指尖では刺激後、一過性の下降とそれに続く上昇とがみられている。前腕での基線の動揺は大きかったが、不規則であった。心拍数に関しては刺激直後からやや増加している。

被験者の1/3は上記のような反応を示したが、2/3の例では反応が大きく現れていた。

4) 苦味 (図5)

塩酸キニーネ液滴下による波高変化については、指尖でもあまり著明ではなかった。かえって耳介での変化の

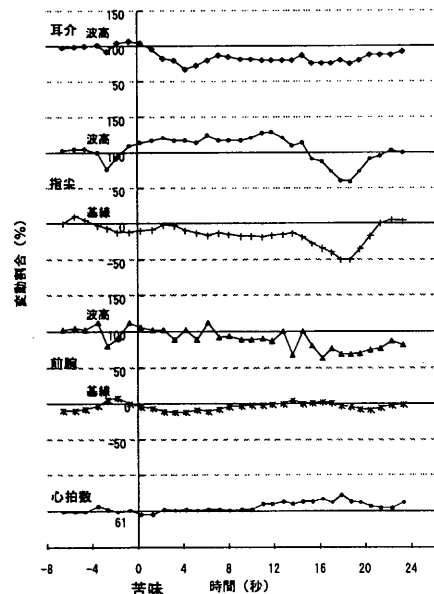


図5 苦味刺激による脈波の波高と基線の動揺及び心拍数の変化について

0.5%塩酸キニーネ水溶液を舌上に滴下した際の変化を示す。縦軸、横軸は図2と同じである。

ほうがよく現れていた。

基線動揺に関しても、指尖ではほとんど変化がなく、前腕において、基線の下降が刺激後4秒前後で出現し、その後は基線の上昇がみられた。

このような変化を示す例はかえって少なく、大部分の例では反応が著明に現れていた。

5) 辛味（図6）

タバスコ希釈液滴下による変化は波高では、耳介、指尖、前腕全てにおいて強い減少がみられた。指尖では減少の程度も強く2相性を示し、反応継続時間も長かった。

基線については、指尖では波高の振幅減少とほぼ同時に下降が起こり、ほぼ同時に回復した。前腕部では基線動揺がみられたが、波高の変動は少なかった。心拍数の変動は初期にはみられず10秒以後に増加がみられた。

辛味による反応には個人差が大きく、1/3が反応が殆どみられず、1/3が中等度、1/3が著明な変化を示していた。

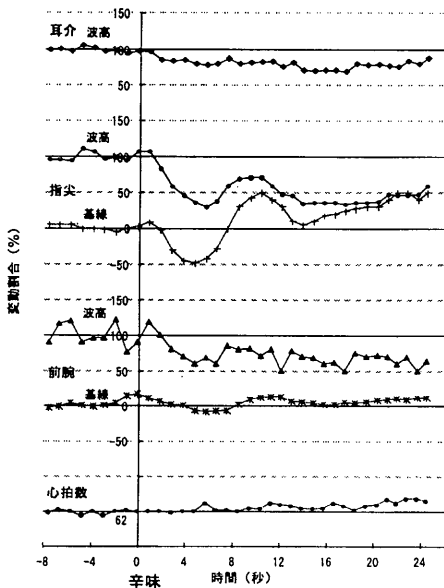


図6 辛味刺激による脈波の波高と基線の動揺及び心拍数の変化について

タバスコの希釈液を舌上に滴下した際の変化を示す。詳細は図2と同じである。

6) 暗算（図7）

味覚刺激とは別に対比の意味において、暗算刺激を加えたが、その反応の一例を示す。暗算の場合は味覚刺激より揺らぎが少なく、安定した変動であった。

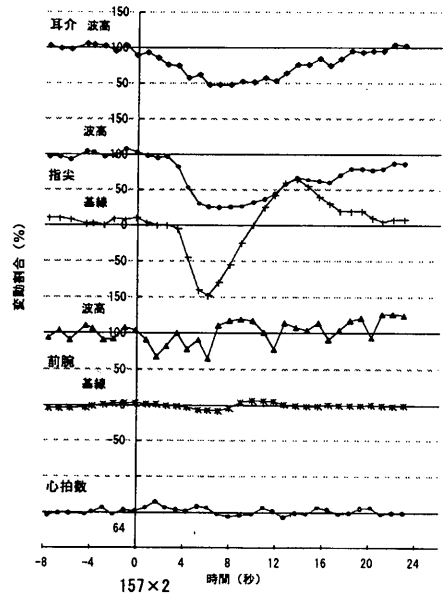


図7 暗算による脈波の波高と基線の動揺及び心拍数の変化について

被験者に157×2の暗算をさせた際の変化である。縦軸、横軸は図2と同じである。

波高に関しては、耳介、指尖において強い減少がみられ、指尖では減少の程度も強く、反応継続時間も長い。また、味覚刺激では耳介にあまり大きな波高の減少はみられなかったが、暗算刺激では耳介において、刺激前の半分以下にまで波高が減少していた。

基線の動揺に関しては、指尖、前腕共に2相性の変化を示し、指尖では波高の減少より、心拍数にして1拍動遅れて顕著な下降がみられた。

このような反応は被験者の1例を除き残りの全例にみられた。

3. 血行動態遮断による脈波変化について

上腕部に血圧計の圧迫帯を巻き付け、加圧し、その末端の指尖及び前腕部の脈波及び血管音、心電図を記録した1例を図8に示す。加圧により脈波の波高の減少更には消失。及び基線の一過性の軽度の上昇に続いて下降がみられている。この検査法においては血流の完全遮断は基線の下降を生じさせることがわかる。それは同時に測定している血圧計での最高血圧を越える加圧(130mmHg)によって、脈波消失と共に基線の下降がみられた事からも知られる。

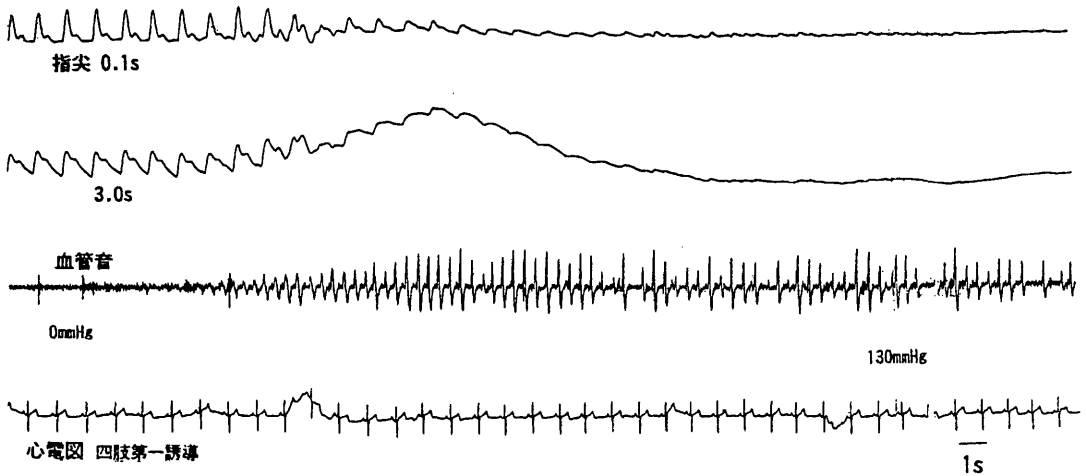


図8 上腕部圧迫による指尖脈波の変化について

血圧計のマンシェットを上腕部に装着し、加圧をした際の指尖脈波の変化と血管音の変化を示す。0 から130mm Hgまであげてある。

表1 味覚刺激による指尖脈波の反応強度

被験者 刺激	KH	NM	TT	NS	TY	SS	MT	YM	SM
甘味	+	+	±	+++	+	+	++	+	+
塩味	+	++	±	++	++	+	+	++	+++
酸味	++	++	+	+	+++	+++	++	+++	++
苦味	++	+++	+++	±	++	+++	+++	++	++
辛味	++	+	±	+++	+++	+	+++	+++	++
暗算	+	+++	+++	+++	++	±	++	++	+

4. 被験者による反応の違い

表1は各被験者の反応の強弱を各刺激ごとに分類したものである。強弱の判定にあたっては、既に述べたような波高振幅の増大、あるいは減少の度合いの大小、基線動揺の大小、反応継続時間の長短、潜時の長短などを総

合して3段階に評価したものである。

表には9名の被験者の反応の強弱を示してあるが、味の種類別では苦味が1人を除き最も反応が強かった。この1人（NS）は日常生活でも苦味は全く苦にならないとのことである。続いて酸味に対する反応が強く、塩味、

甘味では大部分の被験者で軽度の反応を示すに過ぎなかった。辛味(タバスコ)に対する反応は4人の被験者では強かったが、他の5人は余り強い反応は示さなかった。対象として行った暗算については半数の被験者では反応が強かったが、他の被験者特にSS, KHでは全体の変動が不規則に起こり、暗算による短潜時の反応と断定できなかった例である。

これらの成績を被験者の嗜好傾向と照らし合わせた場合、好まない味においては比較的強い反応が出ていた。味覚実験後の被験者がもった感想と、反応の出現のしかたは、多くがその訴えを納得できるようなものであったが、一概に一致しているものばかりではなく、比較的強く感じた味であっても、反応はあまり強く出現していないものなどがあった。また、同一の味における一回目の刺激と二回目の刺激では、ほとんどの場合、最初の刺激の反応の方が強く出現していたが、一回目より二回目の刺激に強く反応した例も認められた。

考 察

1. 光電脈波による末梢循環の検査

末梢の血行動態を調べる方法は色々^{6) 7)}あるが、できるだけ無侵襲な方法³⁾として、今回は光電脈波法^{8) 9)}を用いた。末梢循環は心臓からのポンプ作用を受け、心拍出量による変化(波高)と血圧を反映させている血液量(容積)によっている¹⁰⁾。脈波の変動はこの両者の合成によるが、両者を同時に記録するのは技術的に困難である。そこで増幅器の時定数を0.1秒と3.0秒の2種類を用いて、0.1秒の場合は主に波高を、3.0秒の場合には容積(基線の動揺)の変化の計測に用いた。これらの計測は近似的には末梢循環の動態を反映しているものと見られる。

2. 味覚刺激による末梢循環の反応について

味刺激による脈波の変化は個々の波高の減少と基線の下降とであった。両者はいずれも末梢血管の収縮にもとづくものと考えたと説明できる。それは一つには心拍数、心電図の波型には殆ど変化がみられていないので、心臓の拍出量の変化は考えにくく、末梢での変化が主因と考えられる。基線の下降は流量の低下を示す事は、血圧計のマンシェットを上腕に巻き付け、加圧によって血流量が減少する際には基線は下降しているところからも知られる。味覚刺激による末梢循環への影響の報告は案外少ない^{11) 12)}。これに対して暗算とか不安など心理学的負荷

と末梢循環との関係は、多く報告されている^{13) 14) 15)}。その多くは血圧(最高、最低とも)の軽度の上昇と、末梢血管の収縮とをあげている。今回も味刺激と対比の意味において暗算などの負荷を加えたが、末梢血管の収縮を示す成績が得られている。味刺激においても暗算など同じ方向の反応であるところから、末梢血管の収縮が考えられる。

一般に自律神経反応は全身性の反応であり、部位による違いは少ないものと考えられるが、今回の実験のように指尖で最も反応が強く現れ、前腕、耳介では弱いなど、部位による違いがみられた。これらは自律神経機能は大まかには全身性であるが、厳密に調べると地域特異性がある^{16) 17)}ことを物語っている。最も鋭敏な味刺激の反応は指尖に現れており、耳介とか前腕などでは一般に軽微であった。

3. 味の種類による末梢循環への影響の違い

今回の実験において味刺激による末梢血管の収縮は、味の種類によって反応の大きさの変化として現されている。即ち、苦、酸などの刺激では概して反応は大きく、塩味、甘味などでは反応は軽微であった。しかし、これらの反応も個人差があり、通常の食生活を反映していて、味に対する感覚と末梢循環の反応の間には相関がみられるものの、反対に末梢循環の変化から味の種類を推定することは困難であった。今後は例数を増やすことと同時に他の現象、例えば皮膚電気現象などとの併用によって、味覚の他覚的評価が可能かどうか検討したいと思う。

要 約

味覚の他覚的表示の一助として光電脈波法を用いて末梢循環の反応を調べた。健康女子9名を対象とし、耳介、指尖、前腕部に光電脈波ピックアップをつけ、ポリグラフ的に同時記録をした。味としては甘、塩、酸、苦、辛の5種類をそれぞれ溶液とし、1-3滴を舌上に滴下して反応を観察した。

最も反応の強かった味は苦、続いて酸、塩、辛、最も反応の弱かったのが甘であった。なお個人差も強いので、末梢循環の変化を指標としての味覚の他覚的評価はある程度はできるが、そのみでは難しいと思われた。

謝 辞

本研究の要旨は第26回日本脳波・筋電図学会学術大会(1996.10 新潟)で発表した。

本研究の一部は大学院特別研究費(平成7～9年)によって行われた。謝意を表したいと思う。また、卒論生平成7年度、多賀谷真理、前田里美、村山陽子、平成8年度、関口聡美、山田多見、須長南海子、茂木立夏美、外岡知恵の諸姉の協力を得て行われた。

参考文献

- 1)佐藤昌康編：味覚・臭覚の科学，朝倉書店，1972
- 2)P.J.Hornnes,CKühl,J.T.Hoist, K.B.Lauritsen, J.F.Rehfeld, and T.W.Schwartz : *Metabolism*. 29 : 777,(1980)
- 3)P.Rolfe,ed: *Non-invasive physiological measurements*..I, vii. Academic Press, 1979
- 4)永嶋義直，河合通雄他：特集，最近の皮膚測定技術の進歩－最近の皮膚温と皮膚血流の測定法－. *Fragr. J*, 21, 59 (1993)
- 5)苔米地孝之助編著，木元幸一，宇津木良夫，平戸八千代，江澤郁子，出海みどり：栄養生理学実験，建帛社，1993, pp1～7
- 6)沖野，菅原，松尾編：心臓血管系の力学と基礎計測，講談社サイエンティフィク，1980
- 7)日本自律神経学会編：生理学的検査1，循環器調節機能，1995, pp30～32
- 8)日本自律神経学会編：自律神経機能検査，第2版，脈波検査，文光堂，1995, p86
- 9)日本生理学会編. 新生理学実習書，南江堂 脈波の測定とその解析，1995, pp57～60
- 10)吉村正治：脈波判読の実際，中外医学社，1968
- 11)小田嶋奈津，平島富美子，古川哲雄：味覚刺激に伴う心血管反射. *自律神経*, 31, 59 (1993)
- 12)吉田正昭：味覚の心理学側面，講座心理学，3 感覚，第5章味覚現象，東京大学出版会，1969, pp186～201
- 13)J.Brod, V.Feuel, Z.Hejl, et al.: Circulatory changes underlying blood pressure elevation during acute emotional stress (mental arithmetic) in normotensive and hypertensive subjects. *Clin. Sci.* 18 : 269 (1959)
- 14)P.Hjemdahl, U.Freyschuss, and A.Juhlin-Dannfelt: Differentiated sympathetic activation during mental stress evoked by the stroop test. *Acta Physiol. Scand*, 527 : 25, 1984
- 15)山崎勝男，光宗勝繁，中澤恒幸：不安と指尖容積脈波の基線動揺. *自律神経*, 20:331 (1983)
- 16)A.C.Guyton: *Textbook of Medical Physiology*, W.B.Saunders, Philadelphia, London 1976
- 17)入来正躬：交感神経系地域性反応，医学のあゆみ，98, 255, 1976