

寒冷昇圧刺激に対する疼痛反応に関する 生理心理学的検討の試み

水 田 敏 郎

本研究では、痛みの認知と生理的变化との関係についての基本的検討を行った。口腔内疾患がなく、生理周期の規則正しい女子学生6名（平均CA21.2歳、範囲21-22歳）を被験者とした。疼痛反応を惹起するために、卓上型低音恒温水槽で作られた $9 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の冷水を寒冷昇圧刺激として用いた。被験者に、最長10分間の非利き手根部の冷水入水を求めた。記録指標としては入水中に心拍、体温の他に痛みの主観的指標としてVAS（Visual Analog Scale）と生理指標として唾液中のアミラーゼの活性を測定した。その結果、寒冷昇圧刺激により生じた痛み感覚は主観的にも生理的にも約180sをピークに減少する傾向が見られた。このことより、痛みが生理的指標に敏感に反映されることが確認された。

キーワード：寒冷昇圧刺激、疼痛反応、アミラーゼ活性

1. 目 的

痛みの感覚（疼痛）は、機械または温度的な刺激などにより惹起され、国際疼痛学会（IASP）によれば、その感覚は「組織損傷と関係するかもしれない可能性があり、またはそのような損傷のためだと表現される不愉快な知覚的、情動的体験」であり「主観的なもの」と定義されている⁴⁾。一般に、痛みの度合いなどを主観的な観点から数値化する際にvisual analogue scale（VAS）によるペインスケールなどが用いられることがあるが⁴⁾、その尺度はきわめて個人差が大きく、心理学などの分野では当該感覚を研究対象に含むことが難しい。

ところで、近年、唾液中に含まれる唾液アミラーゼの活性に着目し、それをストレスの強さとして測定する研究が行われている。唾液中のアミラーゼの働き具合を示すアミラーゼ活性は、交感神経-副腎髄質系の神経活動を評価するための指標とされ^{1,5)}、疼痛によって生じる交感神経系の興奮をよく反映すると考えられている。しかしながら、VASなどによる主観的痛み感覚とアミラーゼ活性など生理的反応との関連については研究が少ない。

以上より、本研究では寒冷昇圧刺激によって痛みを知覚したときに生じる心身の反応の関連性について検討することを目的とした。先に述べたとおり、疼痛の感じ方には個人差があるため、同感覚の定量化や統制には困難をともなうことが予想される。そこで本研究では、与えられた刺激により生じる痛み感覚の時間的变化や、同時時間帯におけるペインスケールなどの主観的指標ならびにアミラーゼ活性などの生理的指標との関連について検討することを目的とした。

2. 方 法

(1) 被験者

女子大学生6名を被験者とした。平均年齢は21.2歳（年齢範囲21-22歳）であった。体温を

測定するために生理周期が規則的であること、唾液を採取しアミラーゼを分析するために口腔内疾患が認められないことを事前に確認した。被験者には、あらかじめ冷水に手を浸してもらうこと、それによって痛みを感じることを伝え、これらの条件に同意をもらっている。

(2) 実験日時・場所および状況

本実験は、2006年7月24日から8月5日の日中に、仁愛大学の心理学基礎実験室で行われた。同実験室内の電氣的・音響的に遮蔽されたシールドルームで実験を実施した。シールドルームは空調により26℃に保ち、被験者の目の位置における照度は約60lxとした。

(3) 刺激

被験者の非常用手の指先から手根部までに疼痛を与えるために、卓上型低温恒温水槽（トーマス科学器械社製 T-22；以下、低温水槽）で作成した $9 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の水を用いた。低温水槽内には攪拌機が付属しており、これにより体温によって冷水が温められ痛みの感覚が変化することを防いだ。

(4) 記録指標

本実験では、生理的指標として体温、心拍、唾液アミラーゼ活性を、主観的指標としてVASを測定ならびに採取した。心拍は第Ⅱ誘導法により、常用手の手首と非常用手側の足首の2箇所にて電極を装着して、時定数1.0秒、高周波遮断フィルターを15Hzとして脳波計（日本光電社製 Neurofax）によって増幅後、デジタルレコーダ（TEAC社製DR-M3）を用いて光磁気ディスクに格納した。体温は深部温モニターコアテンプ（TERUMO社製CTM-205）により深部温を左肘内側部より皮膚音を左腋下より測定した。唾液アミラーゼについては、ストレスモニター（ヤマハ発動機社製 α -Amy2.0）の専用チップを用いて採取した。VASについてはA4サイズの白色紙上に描かれた長さ10cmの線分全体を10（痛みの最大）として痛みの度合いを記入してもらった。

(5) 手続き

被験者には、低温水槽によって作られた冷水に非常用手を手根部まで浸してもらうことで刺激を呈示した。刺激の呈示前に、手や指の温度を統制するために36℃の温水に1分間手を浸してもらった。冷水への入水時間は最大10分とし、痛みに限界を感じたときは手を水から出してもよいことを教示した。入水開始直後から30秒毎にVASの記入を求め、180秒毎に唾液を採取した。体温は15秒毎に測定した。また、冷水刺激の呈示前に各記録指標とも3分間のベースラインを測定した。

(6) 分析方法

VASについては、1cmを1点として10点満点で得点化した。採取した唾液はストレスモニターによりアミラーゼ活性を測定し、ベースラインを基準として変化率を求めた。心拍については生体信号処理ソフト（キッセイコムテック社製BIMUTASⅡ）により、30秒毎にデータを切り出した後、拍毎に1分間当たりの心拍率（Heart Rate in bpm.）をもとめた上で30秒間の平均心拍率を算出した。

3. 結 果

(1) 体温の変化

図1はベースラインを基準とした体温の時間経過を示す。縦軸はベースラインとの体温の差を、横軸は時間経過を示す。なお、唾液採取は刺激呈示後165～195秒、345～375秒、525～555秒の各時間帯で行っており、統計的検定を行うにあたって、比較する時間帯をなるべく同じにするために、以下、体温、VAS得点、心拍率についても、唾液採取とほぼ同じ時間帯にあたる150～210秒、330～390秒、510～570秒の3つの時間帯の値に注目した。その際、例えば150～210秒の時間帯については150秒、180秒、210秒時点の平均を求めて使用した。

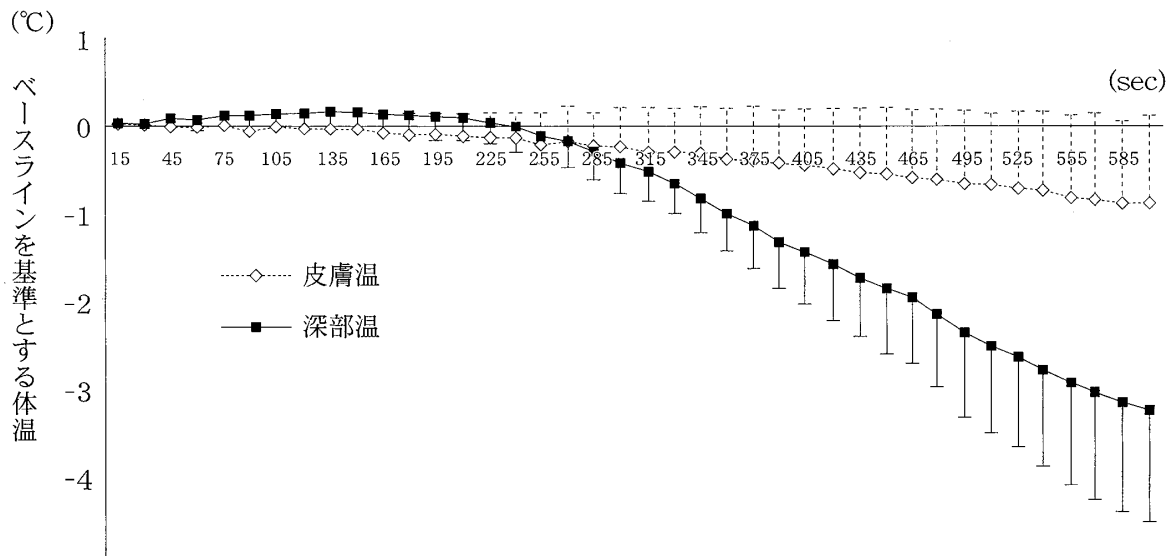


図1 ベースラインを基準とした体温変動の時間経過。
時間は冷水に手を浸した時点を基準としている。

皮膚温、深部温ともに刺激後約150秒から減少傾向が認められるが、皮膚温の方がベースラインを下回るのは早かった。皮膚温については、最大 -0.34 度の変動であったのに対して、深部温では -2.45 度であった。唾液採取と同じ時間帯について分散分析を行った結果、皮膚温については5%水準で時間の主効果が認められた ($F(2,5)=4.41$, $p<.05$)。下位検定 (LSD検定) を行ったところ、165～195秒と525～555秒の間で5%水準で有意差が認められた。また、深部温については1%水準で時間の主効果が認められた ($F(2,5)=13.77$, $p<.01$)。下位検定を行ったところ、150～210秒と330～390秒の間 ($p<.01$)、150～210秒と510～570秒の間 ($p<.01$)、330～390秒と510～570秒の間 ($p<.05$) でそれぞれ有意差が認められた。つまり表面皮膚温、深部温ともに刺激呈示2～3分後から低下することがわかった。

(2) VAS得点、アミラーゼ活性と心拍率

図2に、(a) VAS得点、(b) アミラーゼ活性の変化率、(c) 心拍率の時間経過を示した。各図の横軸は30秒毎の時間経過を示す。縦軸は、図1aではVAS得点の平均値を、図1bではベースラインを基準としたアミラーゼ活性の変化率の平均値を、図1cでは1分間あたりの心拍率の平均値をそれぞれ示す。

VAS得点は刺激呈示後60秒において最高得点を示し、同じく150秒後から急速に減少した。上記の3つの時間帯について分散分析を行ったところ、5%水準で時間の主効果が認められた($F(2,5)=7.98, p<.05$)。下位検定としてLSD検定を行った結果、150~210秒と330~390秒の間、150~210秒と510~570秒の間で5%水準で有意差が認められた。つまり、主観的な痛みの強さは、刺激後約3分間でピークに達し、その後は時間経過にともない著しく減少するといえる。

アミラーゼ活性については、刺激呈示後はいずれもベースラインに比べて高い値を示した。変化率でみると、刺激後165~195秒が最も高く、以後は時間経過とともに低下した。アミラーゼの活性値について分散分析を行ったところ、5%水準で時間の主効果が認められた($F(2,5)=5.66, p<.05$)。下位検定を行った結果、165~195秒と525~555秒の間で5%水準で有意差が認められた。つまり、アミラーゼの活性は、刺激後約3分が最も高く、その後は減少するといえる。

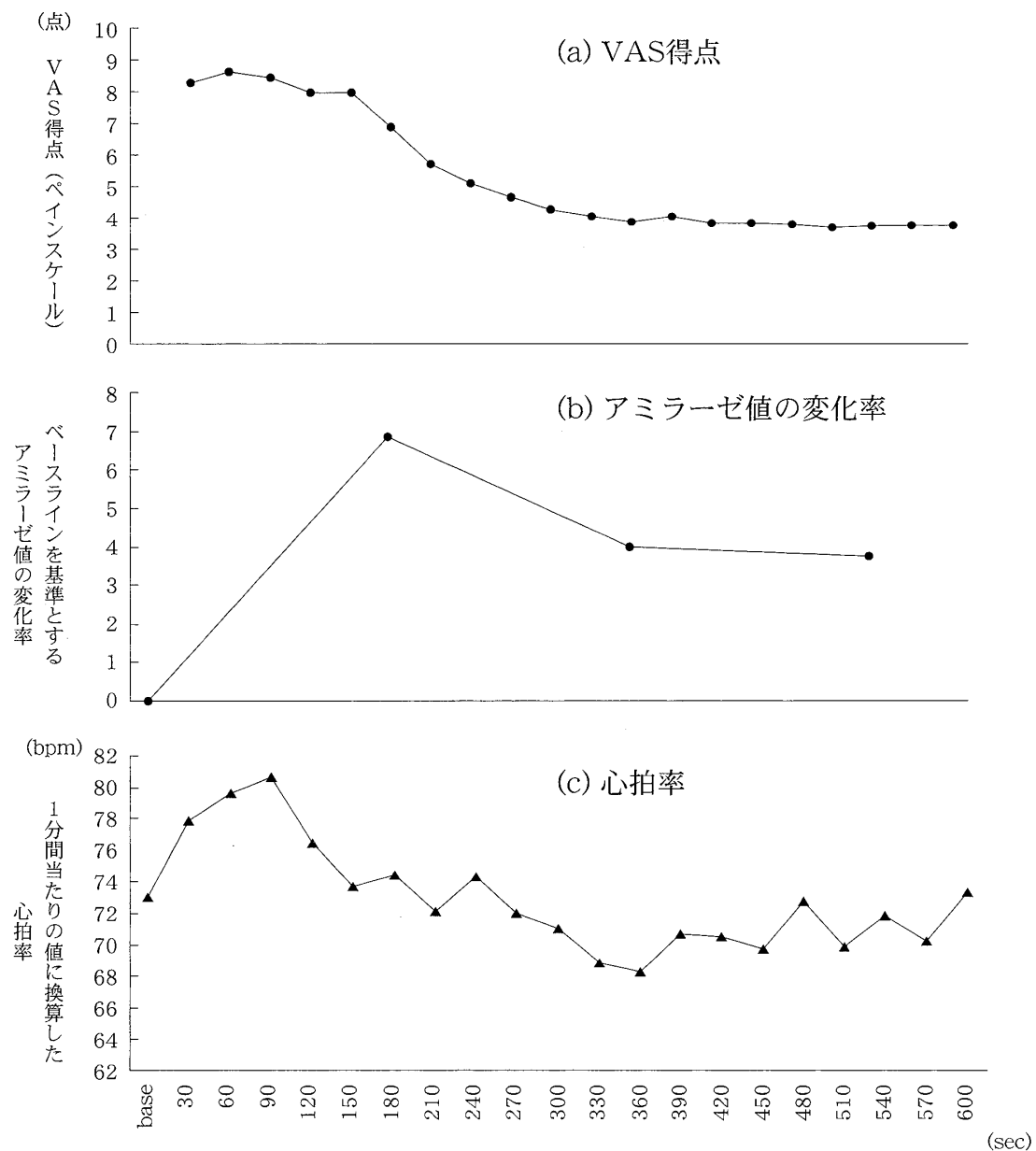


図2 VAS得点, アミラーゼ値, 心拍率の時間経過.

心拍率は刺激後90秒で最も高く、その後は小刻みな変動を伴いながら漸減し、150秒以降はベースラインとほとんど変わらない値となった。上記の時間帯について分散分析を行ったところ、1%水準で時間の主効果が認められた ($F(2,5)=11.26, p<.01$)。下位検定を行った結果、150~210秒と330~390秒の間 ($p<.01$)、150~210秒と510~570秒の間 ($p<.05$) でそれぞれ有意差が認められた。

4. 考 察

本研究では、寒冷昇圧刺激によって痛みが知覚されたときに生じる生体諸反応について検討することを目的とした。また、主観的指標と客観的指標を併用し分析することで、与えられた痛み感覚の知覚の変化についても検討した。指先から手根部にかけて痛み感覚を与えるために、低温恒温水槽で作成した $9 \pm 0.1^\circ\text{C}$ の冷水を用い、冷水への入水中は、被験者に30秒毎にVASへの記入を求め、180秒毎に唾液を採取した。また、心拍と体温についても同時測定した。

まず、今回用いた寒冷昇圧刺激がより直接的に作用したと考えられる体温についてみる。全体的に体温の変化は非常に緩慢であった。皮膚温は刺激後約150秒からベースラインを下回りその後も漸減したのに対し、深部温は刺激後約200秒まで微増、その後は顕著に減少した。いずれの体温低下傾向も、冷水による直接的な効果と考えられる。体温は1日を通してのリズムを持つことが知られており、1日の深部温はおおよそ ± 0.5 度の範囲内で変動する³⁾。これに対して、本結果での深部温の変動幅は -2.45 度と大きかった。今回、短時間でこれほどの体温低下をもたらしたことは、被験者にとって大きな身体的負荷いわゆる身体的ストレスをもたらしていたことが予想できる。このことは主観的な痛み尺度（ペインスケール）であるVASの結果からも支持される。

VASの結果から、被験者は冷水による刺激呈示後約30秒~3分で最も強い痛みを感じており、その後は徐々にではあるが疼痛は和らいでいたことがわかる。あわせてアミラーゼ指標についてみるとアミラーゼ活性は、刺激後約3分が最もその変化率が高く、その後は減少していた。VAS得点について、唾液を採取できた時間帯をあわせてみると、有意な差を検出する時間もこれらの指標の間では一致していることがわかった。このことから、疼痛感覚の強弱はアミラーゼ活性の変化率に大きく反映するといえることができる。この点は、先行研究の結果^{1,5)} と一部一致する。

次に心拍についてであるが、刺激呈示90秒後に最高値を示し、これを疼痛刺激によるストレスの効果とみることができる。しかし、その後は刺激後150秒でほぼベースライン付近の値に戻っている。また、唾液採取時間にあわせた分析からは有意差が見られる時間も存在するが、これは平均値がベースラインより低まっていることによる効果が大きいと考えられる。こうした150秒以降で心拍率がベースライン以下の値をとるときでも、被験者は主観的には中程度の痛みを感じていることから、疼痛感覚は心拍上では90秒間という比較的短い時間心拍率を上昇させる一すなわち、交感神経系の緊張という形で作用する²⁾ が、その後は（少なくとも心拍水準の変化という形では）目立った変化を生じさせないとみることができる。

以上、VAS、アミラーゼ活性、心拍率の結果より、寒冷昇圧刺激によって生じる疼痛感覚の主観的な痛みの強さや身体的負荷として生じる生理的作用は、おおよそ3分以内にピークを迎え、その後は減少すると考えられた。そして、今回の結果からは、主観的な痛み感覚の変化（強-弱）

とアミラーゼ活性の変化率（大-小）はよく一致した。このことから、アミラーゼは身体的負荷刺激に対する心理的評価を反映する指標としてきわめて有効であると指摘できる。今回、心拍変動についてはアミラーゼに比べると、その変動性が主観的指標のそれと一部しか一致しなかったが、この点については今後、心拍変動の周波数解析などのより詳細な分析手法を用いて対応関係を検討する必要があると思われる。

本研究は、仁愛大学人間学部心理学科卒業生小泉晶恵君（平成18年度卒）と共に行ったもので、著者が代表してまとめたものである。

文 献

- 1) 東朋幸, 水野康文, 山口昌樹「唾液アミラーゼ活性を利用した交感神経活動モニタと運転ストレスの評価」『電子情報通信学会技術研究報告』信学技報OME2004-110, 35-40, 2004.
- 2) McArdle, W. D., Foglia, G. F., and Pati, A. V., Telemetered cardiac response to selected running events, *Journal of Applied Physiology*, 23, 566-570, 1967.
- 3) Silbernagl, S., Despopoulos, A. 福原武彦・入来正躬（訳）『生理学アトラス』178-182文光堂, 1982.
- 4) 塩谷正弘「痛みとはなにか」『からだの科学』226, 16-20, 2002.
- 5) 山口昌樹・福士夕紀子・金森貴裕・安井規安「唾液アミラーゼによるストレス反応の分析」『日本唾液腺学会抄録集』45, 19-20, 2000.