

# 超音波刺激が健常成人の計算力，学習記憶力，体表温度に及ぼす効果

岡野秀鑑（東京医科歯科大学），霜鳥良雄（有限会社上山製作所），高原健爾（福岡工業大学）

## Effects of the ultrasound irradiation on calculation, learning and memory abilities, and surface body temperature in healthy adults.

Shukan Okano (Tokyo Medical and Dental University), Yoshio Shimotori (Kamiyama Mfg. Co., Ltd.)

Kenji Takahara (Fukuoka Institute of Technology)

A novel, long wavelength ultrasound irradiation with high permeation (frequency: 30 kHz, power: 2 mW / cm<sup>2</sup>) was applied for 20 minutes through the frontal and occipital area of the head in healthy adult volunteers. A stressful calculation ability test and kanji character test were imposed before and after the ultrasound irradiation. Surface forehead temperature was measured before, just after and 30 minutes after the ultrasound irradiation. From the results, we concluded that the ultrasound irradiation enhanced the calculation, learning and memory abilities. According to the temperature measurement, these effects may last for 30 minutes after the ultrasound irradiation.

キーワード：学習記憶 長波超音波照射 刺激 頭部表面温度

Keywords: study and memory, long wavelength ultrasound irradiation, stimulation, surface forehead temperature

### 1. はじめに

大学卒業生の質保証の観点から，アウトカムベースで何ができるかが問われている。専門知識を一定のレベルで身につけさせるためには，学生のストレスや疲労に対抗して，学習記憶のパフォーマンスをあげる必要がある。著者らは，ストレスを軽減するために，マッサージや睡眠法や密教瞑想<sup>(1),(2)</sup>などが有効であることを報告してきた。また，学習集中法としては，加速学習法<sup>(3)</sup>や単純作業で集中力を高める方法<sup>(4),(5)</sup>なども報告されている。

著者らは，これまでに体のマッサージだけでなく，超音波刺激を利用した脳のマッサージ器を開発しており，その効果の多様性について調査・研究を行なっており<sup>(6)-(10)</sup>，ストレスの軽減に一定の効果があることが確認できている。

本研究では，頭部超音波刺激が計算や学習記憶にどのような影響を与えるかについて測定することにした。具体的には，クレペリン精神検査と漢字試験において超音波刺激を受けた場合と受けない場合の効果を測定した。また，超音波刺激の効果の持続性を体表温度の経時変化についても調査した。

### 2. 材料・方法

超音波刺激装置として，頭部マッサージ器（商品名 Mu-Ma Pro，有限会社上山製作所製）を用いた。図1には頭部に装着する超音波バンドと，超音波振動子を示す。超音波振動子

は前頭部と後頭部にそれぞれ2個ずつ配置されている。超音波周波数は30 kHz ± 5%以下で，超音波強度は最大2 mW / cm<sup>2</sup>である。1振動子あたりの最大平均超音波出力は1.6 mW / 秒で，変調パルス比は10% ± 1%である。この超音波刺激装置は，JISの熱治療用超音波治療器の最大出力と比較すると1/1875で，また頭蓋骨モデル内試験において音の強さは22 μW / cm<sup>2</sup>以下と微小であり，安全に使用できるものがある。



図1 頭部マッサージ器 Mu-Ma Pro 超音波刺激バンドの頭部装着と振動子装着位置

〈2・1〉フェイススケールと気分プロフィール検査 実験に先立ち，フェイススケールを含む個人調査票と気分プロ

フィール検査用紙（株式会社金子書房製）に記入をしてもらった。フェイススケールは、現在の自分の気分や体調の良さを5段階評価するもので、気分が一番良いときを1として、気分が一番悪いときを5としている。気分プロフィール検査は、検査前1週間の普段の気分と今の気分を自己評価するものであり、被験者がうつなど深刻な状況でないことを確認するために行なった。また、被験者の実験後の精神状態を確認するために、実験終了後にも再度フェイススケール調査と気分プロフィール検査を記入してもらい、前後の比較を行った。

**〈2・2〉計算・学習記憶実験** 計算力テストとして、内田クレペリン精神検査（株式会社日本・精神技術研究所製）を用いた。クレペリン精神検査は、加算作業を連続的に15分間行わせることによって、作業量、毎分ごとの作業量の変化曲線、誤りの量や現れ方にどのような特徴があるかをみて、心的活動の調和・均衡をみるものである。しかし、本研究では、単純作業負荷（ストレッサー）として、被験者に計算作業を連続的に行ってもらう目的で用いた。学習記憶実験としては漢字テストを行なった。出題した漢字は、市販の入試参考書から出題した。

被験者は、健康な大学生および大学院生13人であり、被験者には、謝礼金として1時間当たり1000円を支払った。

**〈2・2・1〉クレペリン精神検査** 実験群として、まずクレペリン精神検査を15分間行い、その後に頭部マッサージ器の超音波振動子を頭部に巻いて超音波刺激を20分間与えた。続いて2回目のクレペリン精神検査を15分間行った。それぞれのクレペリン検査の結果から1分毎の平均値を求め、この2回の検査の成績の比を実験群のパーセント増加率とした。

一方、対照群としては、実験群と同様に1回目のクレペリン精神検査を15分間行い、その後は頭部に超音波刺激を与えることなく20分間休憩した後に2回目のクレペリン精神検査を15分間行い、それぞれ1分毎の平均値を求めた。この2回の検査の成績の比を対照群のパーセント増加率とした。

**〈2・2・2〉漢字テスト** 5分間で記憶して5分間で解答する漢字テストを行なった。実験群では、1回目の漢字テストを行なった後に頭部マッサージ器の超音波振動子を頭部に巻いて刺激を20分間与え、刺激終了直後から同難易度である別問題の漢字テストを行った。対照群としては、実験群と同様の難易度で1回目の漢字テストを行なった後に20分の休憩をはさみ、別問題の漢字テストを行った。

対照群と実験群のデータを Student t - test を用いて比較した。

**〈2・3〉体表面温度の測定** 被験者は、健康な大学生および大学院生9人であり、謝礼金は計算・学習記憶実験と同じく1時間当たり1000円支払った。

ここでは超音波刺激装置として、先述の頭部マッサージ器 Mu-Ma Pro およびボディマッサージャー（有限会社上山製作所製）を用いた。ボディマッサージャーは、腹部に装着

するものであり、刺激強さは頭部マッサージ器の10倍である。体温変化の測定には赤外線サーモグラフィカメラ（FLIRi3, を用いた。FLIR System Inc. 社製）を用いた。

**〈2・3・1〉頭部刺激実験・腹部刺激実験** 超音波刺激前の額体表温度をサーモグラフィで測定し、これを対照群とした。被験者の頭部に超音波マッサージ器を巻き20分間刺激を与え、刺激終了直後および30分ごとに、額体表温度が刺激前の温度に戻るまで最長1時間測定し、これを実験群とした。

腹部刺激実験は頭部刺激実験と同様に、超音波刺激前の腹部体表温度をサーモグラフィで測定し、これを対照群とした。被験者の腹部にボディマッサージャーを当て20分間刺激を与え、刺激終了直後および30分ごとに、体表温度が刺激前の温度に戻るまで最長1時間測定し、これを実験群とした。頭部と腹部の実験は1時間間隔をおいてから行った。

なお、体表温度の変化は、縦横20 x 60 mm の面積における平均温度を測定した。ここでも、対照群と実験群のデータを Student t-test を用いて比較した。

### 3. 実験結果

**〈3・1〉フェイススケール** 実験結果を表1にまとめて示した。フェイススケール調査の得点は、超音波頭部刺激前は2.08±0.62点であった。刺激後には1.85±0.53点に減少し、被験者の心理や気分の状況にやや改善傾向が見られたが、有意差はなかった。これらの結果を図2に示す。

表1 超音波頭部刺激のヒトに及ぼす効果

	刺激前	刺激後	30分後
フェイススケール (13例)	2.08±0.62	1.85±0.53	-----
クレペリン検査 (9, 13例)	110.2±3.9	118.5±4.0**	-----
漢字テスト (6例)	33.7±11.3	43.3±6.0*	-----
額温度 (9例)	34.7±0.5	35.6±0.4***	34.8±1.3
腹部温度 (8例)	33.4±1.8	34.9±1.0	34.6±0.9

平均値±標準偏差 \*：p < 0.05, \*\*：p < 0.005, \*\*\*：p < 0.001

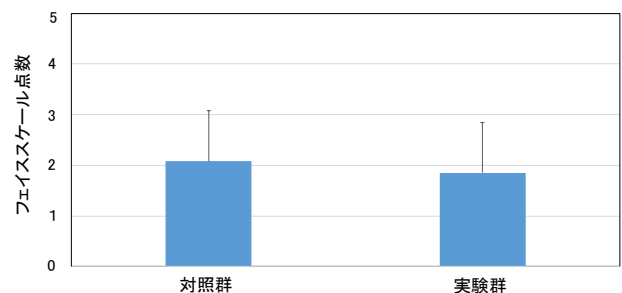


図2 超音波頭部刺激のフェイススケールに及ぼす効果

**〈3・2〉クレペリン精神検査** クレペリン精神検査用紙を用いた計算量は、超音波頭部刺激の前にはパーセント増加率が  $110.2 \pm 3.9$  パーセントであったが、刺激後に  $118.5 \pm 4.0$  パーセントと有意に増加した。 ( $p < 0.005$ )

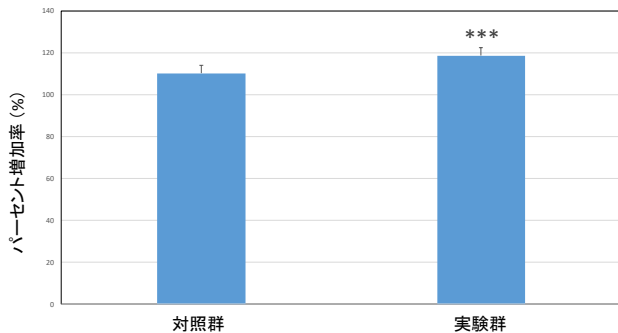


図3 超音波頭部刺激のクレペリン精神検査に及ぼす効果

**〈3・3〉漢字テスト** 漢字テストの成績は、超音波頭部刺激前には50点満点中  $33.7 \pm 11.1$  点であったが、刺激後には  $43.3 \pm 6.0$  点と有意に上がった。 ( $p < 0.05$ )

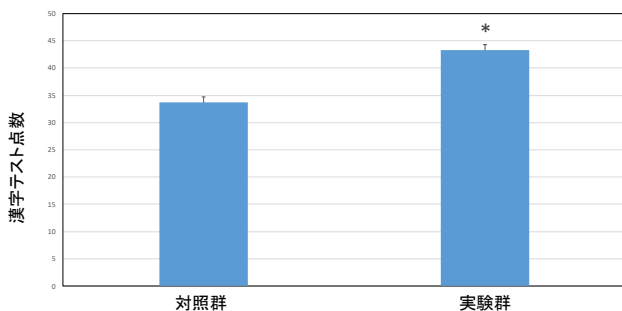


図4 超音波頭部刺激の漢字テストに及ぼす効果

**〈3・4〉超音波頭部刺激による額温度変化** 超音波頭部刺激による額部の表面温度は、刺激前は  $34.7 \pm 0.5$  °C であったが、刺激直後には  $35.6 \pm 0.4$  °C と有意に上昇した。 ( $p < 0.001$ )しかし、30分後には元の温度に戻った。

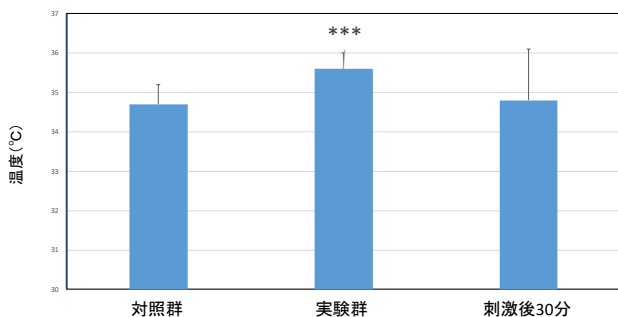


図5 超音波頭部刺激の額温度変化に及ぼす効果

**〈3・5〉超音波腹部刺激による腹部温度変化** 超音波腹部刺

激による腹部の表面温度は、刺激前に  $33.4 \pm 1.8$  °C であった。刺激直後には  $34.9 \pm 1.0$  °C に上昇し、30分後にも  $34.6 \pm 0.9$  °C であった。しかし、ばらつきが大きく、有意な差は見られなかった。

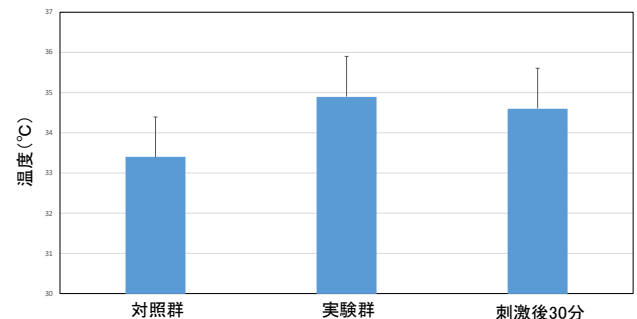


図6 超音波腹部刺激の腹部温度変化に及ぼす効果

#### 4. 考察

実験では、ストレスを感じる単純な計算作業としてのクレペリン精神検査において、対照群の20分休憩後の2回目のクレペリン精神検査では点数のパーセント増加率が10.2%アップした。これは、石田<sup>(4)</sup>が述べるように集中力アップの方法としての暗算などの単純作業が効果的であることを示していると考えられる。一方、超音波刺激を与えた実験群では、クレペリン精神検査のパーセント増加率が更に18.5%アップしており、超音波刺激の効果がみられたと考えられる。

漢字テストでは、成績が28.5%上昇した。ただし、被験者のうち、4名が刺激前後ともに満点であり、1名が留学生であったので、これらのデータは不採用とした。

サーモグラフィによる額温度実験測定では、20分間の超音波刺激による表面温度の上昇は刺激直後には0.9°C有意に上昇していた。しかし、刺激終了後30分間経過時では刺激前温度に戻っていた。ヒトは39.5°C以上の高熱にさらされると死亡する危険性が有意に高まる<sup>(11)</sup>。本研究での超音波刺激では、額温度が34.7°Cから35.6°Cへと0.9°Cの温度上昇が最長30分間の持続であり、脳への危険性はなく、頭痛を訴えた被験者もいなかった。

腹部の超音波刺激後では、1.5°Cの温度上昇が見られ、30分後にも緩やかに温度は下がっていた。しかし、ばらつきが大きく有意ではなかった。

被験者の心理・気分状況検査のために、フェイススケールと気分プロフィール検査を行ったが、有意な改善が見られなかった。ただ、若干の改善傾向があることから、長期的な刺激を繰り返すことで変化が現れる可能性が考えられる。

学習と記憶を司る部位であり、学習時や課題作業時に脳血流の増加が単光子放出断層撮像法 (single photon emission computed tomography: SPECT) や近赤外線分光法 (near-infrared spectroscopy: NIRS) を用いて確認されているのは、前頭葉 (前頭前野 (眼窩野, 下前頭前野, 背外側前頭前野, 左下前頭回), 側頭葉 (内側側頭葉, 左側頭葉, 右側頭葉),

頭頂葉（楔前部）、後頭葉、海馬、視床（左視床、右視床）、帯状回、左角回、左右レンズ核の各部位である<sup>(12)-(15)</sup>。著者らは、これまでに超音波刺激を加えた場合に、それらの部位に脳深部血流の増加が見られることをCT画像やSPECT画像により確認しており、その増加率は部位により5.8～23.5%であった<sup>(10)</sup>。超音波振動子は、前頭部と後頭部に2個ずつ、合計4個が配置されている。直線的な電流刺激と異なり、超音波刺激は振動子から音波が放射して伝導していく。著者らは、これまでに石膏製脳ファントムを用いて実験を行ったところ、1波長の50mm前方で、正面の音の強さが減少し、かつ音が広がっていることが確認できた。そして、樹脂製頭蓋骨モデルを用いた研究では、脳から脊髄が出て行く大後頭孔よりやや後頭部寄りでの音響分布が最大となることがわかっている<sup>(9)</sup>。

したがって、超音波刺激は、音波が放射状に脳全体を広く進んで刺激を行う。その結果、脳血流増加と表面温度上昇を起すとともに、ストレスが軽減すると考えられる。このことが、学習記憶力や作業能力の上昇に寄与するのではないかと考えられる。

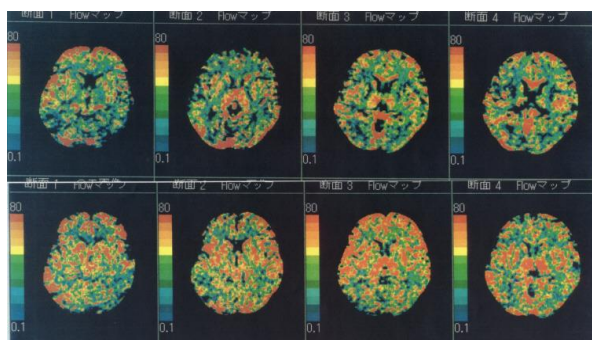


図7 超音波刺激と脳血流（キセノンガスCT画像，上段：刺激前，下段：刺激後，文献(10)より再掲）

## 5. おわりに

本研究では、長波超音波刺激を前頭部と後頭部の体表面から与えることにより、ストレスを減少させ、計算力と漢字の学習記憶力が増加する可能性があることがわかった。そして、その効果は刺激終了後30分間持続することが分かった。

今後は、超音波刺激の方向やパターンや周波数を変化させて、効果的な刺激方法を検討する予定である。また、集中力を高める必要がある様々なニーズに対応できるようにしたいと考えている。

**謝辞** 実験にご協力いただいた皆様に心より感謝いたします。

## 文 献

(1) 岡野秀鑑：真言密教瞑想法の脳波解析，空海研究，第3号，1-24頁，空海学会，2016

(2) S. Okano and K. Takeuchi: The Effects of Japanese Shingon Esoteric Buddhism Meditation on Human Stress Management, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, Vol.5, No.1, 37-40, 2017.

(3) コリン ローズ：コリン・ローズの加速学習法－「学び方」のまなびかた，PHP 研究所，1996

(4) 石田勝紀：勉強前の「単純作業」で集中力は大きく変わる，東洋経済 ONLINE，<http://toyokeizai.net/articles/print/140884>，2016

(5) 中村美和：「集中力」を高める学習環境の設定について，奈良県立教育研究所 研究紀要平成17年 <http://www.nps.ed.jp/nara-c/gakushi/kiyou/h17/data/a/a18.pdf> #search=%27%E5%8D%98%E7%B4%94%E5%AD%A6%E7%BF%92%E3%81%A8%E9%9B%86%E4%B8%AD%27

(6) 霜島良雄，済陽輝久，岡野秀鑑：頭部音波マッサージ器による健康増進効果，Health Sciences, Vol.23, No.4, p.274, 2007

(7) Okano S., Shimotori Y., Watayo T.: Effects of Ultrasonic Vibration on Human EEG and Blood Circulation, J. Physiol. Sci., Vol.58 (Suppl.), p.S98, 2008.

(8) 上馬場和夫，許鳳浩，八塚幸枝，金杰：頭部マッサージャーによる自律神経作用のダブルブラインド RCT 試験，第33回日本アールペーダ学会，2011

(9) 岡野秀鑑，霜島良雄：超音波頭部マッサージ器による頭蓋骨モデル内の音場測定，医療機器学，Vol.85, No.1, p.14-21, 2015

(10) 岡野秀鑑，上馬場和夫，眞鍋雄太，柴田和宏，霜島良雄：健康成人における経頭蓋微弱超音波振動による脳血流の変化，日本補完代替医療学会誌，Vol.12, No.2, p.73-78, 2015

(11) Young P. and Saxena M.: Fever management in intensive care patients with infections, Critical Care, 18:206, 2014

(12) 松井三枝：精神神経疾患における記憶障害，高次脳機能研究，24 (2)，15-163, 2004

(13) 吉村貴子 他：もの忘れ高齢者のリーディングスパンと局所脳血流の特徴，生理心理学と精神生理学，28 (3)，199-208, 2010

(14) 渋谷直美 他：Parkinson 病の記憶機能：神経心理学的検査と脳血流による検討，日本老年医学会雑誌，38，193-200, 2001

(15) 兒玉隆之 他：地域在住高齢者における日本語 Reading Span Test 施行時の脳循環動態，理学療法科学，24 (1)，21-24, 2009

電気学会 教育フロンティア 研究会 2017/03/03