

有酸素運動が英単語暗記に及ぼす影響の確認

湯浅 成章^{2,a)} 黄瀬 浩一^{1,b)}

概要: 我々は、学習増強を目指して、これまでに確信度に基づいた復習や、目標設定を利用した読書量の増加などの学習法を提案している。本研究では、これらに加わる新しい学習増強の方法として、有酸素運動を利用した英単語暗記法を提案する。従来の研究から、有酸素運動が脳の認知機能を改善することが明らかになっている。本研究は、この知見に基づくものである。有酸素運動の方法としては、場所を取らず、危険性も少ないステップを用いる。英単語の暗記は、スマートフォンのフラッシュカードアプリを用いて行う。本手法の有効性を検証するために、実験参加者 10 名を対象として実験を行った。暗記の 1 日後、3 日後、1 週間後にテストを行った結果、1 日後には有酸素運動による差が認められなかったものの、3 日後では 7 パーセント、1 週間後では 6 パーセント、正答率が向上した。また、この差は統計的に有意であることを確認した。

キーワード: 知能増強, 学習増強, 有酸素運動, 英単語暗記

1. はじめに

知能増強 (Intelligence Augmentation) とは情報技術の力によって人の知能を強化すること、あるいはその研究分野を指す。これを人の学習に適用して、より効果的・効率的な学習を実現することを学習増強 (Learning Augmentation) と呼ぶ。我々は、人の学習経験に基づいて学習増強を実現するための研究に取り組んでいる。具体的には、どのようなタイプの人がどのような学習方法で学習した結果、どの程度うまくいったのか、あるいはいかなかったのかを経験バンクに記録して、それに基づいて、学習方法を提案するという枠組である。人の経験を参考にして、自分の学習経験を積むことから、この枠組を経験サプリメントと呼んでいる [1]。本研究は、この経験サプリメントによる学習増強に関するものである。

我々は、これまで、解答に対する確信度に基づいて効果的な復習をする方法 [2] や、目標を設定したり通知を活用して読書量を増やす方法 [3] など、いくつかの経験サプリメントを実現し、有効性を検証してきた。本研究は、学習のための新しい経験サプリメントとして、有酸素運動を取り上げるものである。

有酸素運動が記憶力に好影響を及ぼすことは、従来の研究で明らかになっている [4]。例えば、中程度の運動を一

定時間行ったあとで、記憶課題を実施するとパフォーマンスが向上することや、低程度の運動であっても運動しながら記憶課題を実施することで同様にパフォーマンスが向上することが知られている。本研究では、これらの知見を基礎として、英単語学習に有効な経験サプリメントを作成することを最終目標としている。

本稿では、その第一歩として行った実験の成果を報告する。有酸素運動としてはステップと呼ばれる足踏み運動を取り上げ、それを行いながら英単語を記憶すると、運動せずに記憶した場合に比べて、単語テストの成績が向上することを示す。実験参加者 10 名による実験の結果、これまでに研究対象としてきた他の経験サプリメントと同様、この有酸素運動についても、効果がある人となない人がいるが、記憶後、3 日と 1 週間の単語テストにおいて、全体としては統計的に有意な差が得られた。なお、本研究は、大阪府立大学大学院工学研究科の倫理委員会の承認を得たものである。

2. 関連研究

運動を伴う学習を調査した研究には習慣的に運動しながら記憶力を長期的に測定する研究と、一過性の運動が記憶力に与える影響を調査する研究がある。一過性の運動に関する研究は運動前、運動中、運動後に学習するものに分けられる。ここでは、習慣的な運動に関する研究、一過性の運動後の学習に関する研究、一過性の運動中の学習に関する研究について述べる。

¹ 現在, 大阪府立大学大学院工学研究科

² 現在, 大阪府立大学工学域

^{a)} yuasa@m.cs.osakafu-u.ac.jp

^{b)} kise@cs.osakafu-u.ac.jp

ただし、こう言った研究では結果の分析を容易にするために専用に作られたテストを用いていることが多く、また、運動の強度を指定しているため、実際の学習に適応できるか否かについては検証が必要である。

2.1 習慣的な運動に関する研究

Chapman らは週 3 回エアロバイクとランニングマシンを交互に 1 時間用いる運動を 3 か月続けたとき、単語を暗記する能力がかなり増えたことを示している [5]。さらに、実験開始から早々に差が付きはじめ、6 週間後にはすでに単語の暗記能力に大きな差があったことも示している。また、Chapman らは記憶に関係する器官である海馬 [6] への血流量が増加したことも示している。海馬への血流量が増加すると海馬の働きが活発になる。それにより海馬で最も多く生成される BDNF と呼ばれる物質の生成量が増えると考えられている。BDNF は脳細胞同士のつながりを強化し、それによって記憶力も強化されることが知られている [4]。有酸素運動により心拍数が上昇したため海馬への血流量が上昇したと考えられる。Erickson らは心拍数の上がらないストレッチと心拍数が上がる持久力系トレーニングがそれぞれ海馬に与える影響を調査した [7]。ストレッチを行ったグループでは海馬は縮小したのに対し、持久力系トレーニングを行ったグループでは海馬は成長していたことを示している。

2.2 一過性の運動後の学習に関する研究

中野らは、一過性の運動が認知能力に与える影響を調査している [8]。この研究ではランニングとバスケットボールドリブルを 5 分間行う前後に単語暗記を課し、その成績を比較している。なお、ランニングとバスケットボールドリブルを行った日には 1 週間の隔りがある。単語暗記課題の成績は、ランニングにおいては運動の前後で有意差は見られなかった。しかし、バスケットボールドリブルにおいては運動前より運動後のほうが有意に成績が向上した。

中野らは 10 分間のランニングについても調査しており、単語暗記課題の成績はランニング前よりランニング後のほうが有意に向上したことを示している [9]。

Labban らは運動前に暗記、運動後に暗記、安静時に暗記の 3 つの条件下でテストした結果、運動後に暗記が最もパフォーマンスが高かったことを示した [10]。

2.3 一過性の運動中の学習に関する研究

Schmidt らはランニングマシン上で歩行しながらの学習が単語の暗記に及ぼす影響を調査している [11]。この研究ではドイツ語を母国語とする実験参加者がポーランド語をランニングマシン上で歩行しながらの学習と椅子に座りながらの学習を行った。ランニングマシンの速度設定は実験参加者が決定した。テストの結果が歩行しながらの学習の



図 1 フラッシュカードの例

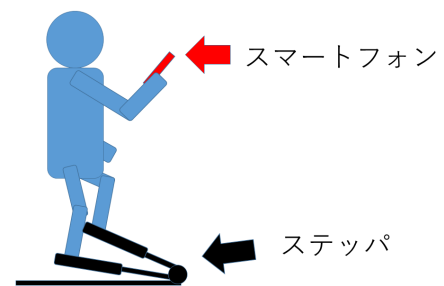


図 2 有酸素運動を利用した英単語暗記の図

ほうが椅子に座りながらの学習よりも有意にテストの成績が高かった。

また、Schmidt らは自転車に乗りながらの学習と椅子に座りながらの学習についても調査している [12]。その結果、自転車に乗りながらの学習のほうがテストの成績が優位に向上した。

これらの研究で行われたテストはドイツ語とポーランド語のペアを音声のみで学習し、ポーランド語の音声聞いてドイツ語を書きとるというものである。

3. 有酸素運動を利用した英単語暗記の手法

運動を伴う学習方法には 2.2 で述べた運動後に学習する方法と、2.3 で述べた運動中に学習する方法がある。本手法では 2.3 で述べた運動中の学習を行う。運動後に学習する場合、運動する時間と学習する時間をとる必要があるため、学習の補助として運動中の学習のほうが扱いやすいからである。

運動の種類にも様々なものがある。例えば、ランニング



図 3 ステッパ



図 4 E4 wristband

などの広い場所を必要とするものや、ステッパなどのその場で運動が可能なものがある。このような運動の中で、広い場所を必要とする運動は運動中の学習には向いていない。音声を用いた学習など極めて制限のされた学習しかできないからである。また、転倒などによってけがをする可能性が高い。本手法ではその場で運動が可能なものを用いる。

その場で運動が可能なものには足踏みなどの道具を使わない運動と、ランニングマシンやステッパなど道具を用いる運動がある。道具を使わない運動には運動の強度を調節しづらいという欠点がある。強すぎる運動強度は認知機能の低下をもたらす [13]。適切な運動強度は脳の機能によってはある程度見積もられているものもある。例えば、ワーキングメモリは最大心拍数の 60% から 70% 程度の運動を 30 分間行うことが効果的だとされている [14]。最大心拍数は 220 から年齢を引いて求められる。暗記に対しての適切な運動強度は十分な議論がなされていなく [15]、個人差があることは十分に考えられる。運動強度の調節を行いやすいのは大きな利点である。運動はステッパを用いて行う。ランニングマシンなどの大型機器と比べて安価であり、転倒などの危険も少ないからである。

学習する内容は英単語とする。近年の社会のグローバル化に伴い、日常的に英語を使用する機会が増えているため、英語学習の必要性が高まってきている。特に、英語学習においてもっとも基礎的なものに英単語の暗記があげられる。効率よく英単語を暗記することは、英語を上達させるうえで重要な要素の 1 つである。

英単語の暗記はスマートフォンのフラッシュカードアプリを用いて行う。その例を図 1 に示す。書籍などと比べて軽量であり、片手での学習が可能だからである。また、他科目の暗記でも利用可能だからである。以上までのまとめを図 2 に示す。

4. 実験

4.1 実験方法

本節では、3 で述べた手法が有効であるかを検証するために行った実験について述べる。

運動時と安静時での記憶力を比較することで運動が記

憶力に与える影響を調査する。実験では、実験参加者はステッパを用いて運動しながらでの英単語暗記、および椅子に座りながらでの英単語暗記を同日数行った。ステッパ自体の負荷は最も軽い設定とした。用いたステッパを図 3 に示す。実験参加者には運動の強度については特に指示をしなかった。

心拍の測定には E4 wristband を用いた。その外観を図 4 に示す。E4 wristband から取得可能な心拍の例を図 5 に示す。

暗記する単語は事前に用意した 360 語から重複が無いようランダムに選出し 1 日当たり 30 語暗記してもらった。単語テストは暗記を行った日から 1 日後、3 日後、1 週間後に 10 語ずつ重複なしで出題した。テストは csv 形式のファイルをメールで送信し、解答を返信してもらう形式で実施した。その流れを図 6 に示す。単語は British National Corpus *1 において出現頻度ランキングが 30,000 位以下の単語のうち、Weblio *2 で学習レベルが 11 以上のものを選んでおり、難易度は高めである。こうすることで暗記する単語間の難易度の差を減らし運動の効果をより見やすくした。

単語の暗記は既存のスマートフォン上でフラッシュカードアプリである単語帳 F を用いて行った。フラッシュカードアプリでは実験参加者は各単語に「正」または「誤」のラベルを付けることができ、「正」のラベルがつけられたものはその後出現しないように設定した。実験参加者にはその単語を覚えたと思ったものには「正」のラベルを付けてもらい、すべての単語に「正」のラベルをつけるまで学習を行ってもらった。ステッパに乗りながら英単語の暗記を行う際、途中で休憩することは認めた。ただし、休憩中に単語を暗記することは禁止とし、ステッパを使いながらすべての単語を暗記してもらった。

実験は日本人大学学部生、大学院生で男性 3 名、女性 7 名の計 10 名を対象に行った。実験参加日数は 6 日間、4 日間、2 日間のうちから選んでもらった。この日数は単語を覚えてもらった日のみを数えておりテストに解答した日は

*1 <http://www.wordcount.org/main.php>

*2 <https://ejje.weblio.jp/>

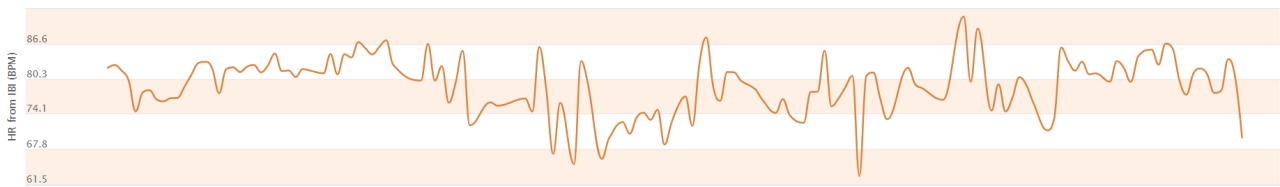


図 5 E4 wristband から取得できる心拍の例

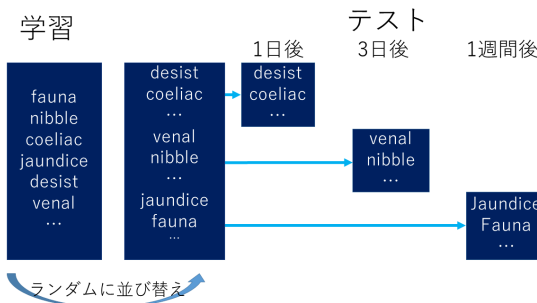


図 6 実験中の学習とテストの流れ

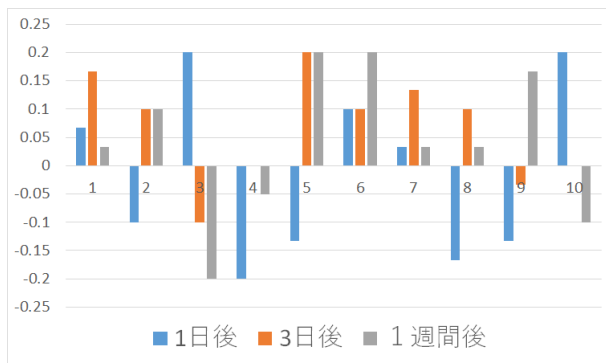


図 7 各参加者のテストの正解率の差分

含まれていない。内訳は、6日間参加したのが6名、4日間参加したのが1名、2日間参加したのが3名であった。報酬は1日当たり4000円分の金券で支払った。

4.2 実験結果

運動の効果を検証するために2標本t検定を用いた。運動しながら英単語暗記を行ったとき(グループ1)と運動せずに英単語暗記を行ったとき(グループ2)の2つのグループ間において、帰無仮説を「2群間に正解率の差はない」とし、対立仮説を「2群間に正解率の差がある」とした。それぞれのグループの正解率のデータ数を n_1 , n_2 , 平均値を \bar{X}_1 , \bar{X}_2 , 分散を s_1^2 , s_2^2 とする。以下の式を用いてまず s を求めた。

$$s = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (1)$$

その後以下の式を用いて t 値を求めた。

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2)$$

単語テストの正解率の平均値とt検定の結果を表1に示す。表1中の1日後, 3日後, 1週間後はそれぞれ英単語を暗記した日からの日数を表している。この表より, 暗記から1日後のテストの成績に差はほとんどないことがわかる。しかし, 3日後と1週間後のテストは運動しないときと比べて運動しながら暗記したほうが有意に成績が向上している。運動の強度を指定せずとも, ステップを用いた運動で英単語の記憶の定着率が向上することを確認できた。

1日後のテストで成績に差がでなかった原因について考察する。関連研究で述べたように中野らの研究[8][9]において同じ継続時間では記憶力が向上した運動としない運動があり, また, 同じ運動でも継続時間によって効果が変わっていた。ステップによる運動では即座に記憶力が大きく改善するには運動強度あるいは継続時間が不十分であったと考えられる。

運動は認知能力の向上だけでなく, 短期記憶から長期記憶への転送が行われやすくなる効果があることも知られている[4]。3日後, 1週間後に成績が向上した要因はこれであるとされる。

次に, 正解率と心拍数の関係について述べる。各参加者それぞれのテスト結果と運動時の心拍数の平均を表2に示す。学習1日後, 学習3日後, 学習1週間後の行の値はそれぞれ運動しながら学習したときのテストの正解率と運動せずに学習したときのテストの正解率の差分である。平均は各実験参加者の学習1日後, 学習3日後, 学習1週間後の差分の平均値である。

3で述べたようにワーキングメモリの改善においては心拍数は最大心拍数の60%から70%が効果的であるとされている[14]。また, 運動の強度が強すぎる場合, 認知機能のパフォーマンスは低下することが知られている[13]。本実験において実験参加者は大学学部生, 大学院生であるため最大心拍数は約200bpmでありその60%は120bpmである。表2より, 平均値が最大心拍数の60%から70%を超過しているものはいない。これは実験参加者に運動の強度を指示しなかったためだと考えられる。p1, p5, p6は日常的に運動していることがわかっている。このため, 心拍数が上がりずらかったと考えられる。p9は心拍数がかなり低いが, これは心拍数が上昇するほど実験中に運動をしていなかったためであると考えられる。p10は運動途中で酔ったと報告しており, 運動の強度があげられなかったため心拍数が低いと考えられる。今回の実験では成績と心

表 1 正解率の平均値と t 検定の結果

	正解率の平均 (ステッパーあり)	正解率の平均 (ステッパーなし)	平均の差	t 値	有意差
1 日後	0.72	0.73	-0.01	-0.45	なし
3 日後	0.55	0.48	0.07	4.0	p=0.01 であり
1 週間後	0.30	0.24	0.06	3.9	p=0.01 であり

表 2 各実験参加者のテストの正解率の差分と運動時の心拍数の平均

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10
学習 1 日後	0.07	-0.1	0.2	-0.2	-0.13	0.1	0.03	-0.17	-0.13	0.2
学習 3 日後	0.17	0.1	-0.1	0	0.2	0.1	0.13	0.1	-0.03	0
学習 1 週間後	0.03	0.1	-0.2	-0.05	0.2	0.2	0.033	0.033	0.16	-0.1
運動時の心拍数の平均	89.4	113.4	105.	104.5	88.1	84.2	103.4	108.8	76.4	76.1
運動時の心拍数の標準偏差	12	10	22	15	6	10	12	18	7	5

拍数の関係を見つけることは出来なかった。さらなる実験が必要である。

図 7 は表 2 のテストの成績部分をグラフにしたものである。縦軸が正解率の差分を表しており、横軸は参加者を表している。図 7 より、p1, p6 のように全体を通して効果があったものや p4 のように逆効果であったものが見て取れる。このような参加者を傾向を事前テストなどにより識別し、また、どの程度効果があるのかを推定することが今後の課題である。

5. まとめ・今後の課題

本稿では、ステッパによる運動が英単語暗記に良い効果を与えるか否かについて調査した。その結果、1 日後のテストでは運動中の学習と何もしない状態での学習に成績の差は見られなかった。しかし、3 日後と 1 週間後のテストでは何もしない状態での学習と比べて運動中の学習のほうが成績が有意に向上した。

今後の予定として、さらなる実験により提案した学習手法の効果をより確かなものとし、また、有酸素運動が有効な人に識別をし、どの程度の学習効率の向上が見込めることができるのか推定することがあげられる。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST (Grant No. JP-MJCR16E1), ならびに大阪府立大学キーププロジェクトの補助による。

参考文献

[1] Kise, K., Augereau, O., Utsumi, Y., Iwamura, M., Kunze, K., Ishimaru, S. and Dengel, A.: Quantified reading and learning for sharing experiences, *Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 724–731 (2017).

[2] 丸市賢功, 黄瀬浩一: 対数正規分布を用いた英単語筆記時の確信度推定手法の提案, 情報処理学会研究報告, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 (2020).

[3] 殿元禎史, 黄瀬浩一: 英文多読のための個人に適合したナッジ戦略の検討, 情報処理学会研究報告, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 (2020).

[4] アンダース・ハンセン: 一流の頭脳, 株式会社サンマー

ク出版 (2018).

[5] Chapman, S. B., Aslan, S., Spence, J. S., DeFina, L. F., Keebler, M. W., Didehban, N. and Lu, H.: Shorter term aerobic exercise improves brain, cognition, and cardiovascular fitness in aging, *Frontiers in aging neuroscience*, Vol. 5, p. 75 (2013).

[6] Carr, M. F., Jadhav, S. P. and Frank, L. M.: Hippocampal replay in the awake state: a potential substrate for memory consolidation and retrieval, *Nature neuroscience*, Vol. 14, No. 2, p. 147 (2011).

[7] Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., Kim, J. S., Heo, S., Alves, H., White, S. M. et al.: Exercise training increases size of hippocampus and improves memory, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 108, No. 7, pp. 3017–3022 (2011).

[8] 中野裕史, 荻野晋平ほか: 一過性のランニングとバスケットボールドリブルが若年女性の計算課題と単語記憶課題の成績に及ぼす影響, 中村学園大学・中村学園大学短期大学部研究紀要, No. 50, pp. 169–172 (2018).

[9] 中野裕史, 安藤百恵, 梅守舞花ほか: 一過性走運動中の音楽聴取が若年女性の単語記憶と気分に及ぼす急性影響, 中村学園大学・中村学園大学短期大学部研究紀要, No. 48, pp. 187–191 (2016).

[10] Labban, J. D. and Etnier, J. L.: Effects of acute exercise on long-term memory, *Research quarterly for exercise and sport*, Vol. 82, No. 4, pp. 712–721 (2011).

[11] Schmidt-Kassow, M., Zink, N., Mock, J., Thiel, C., Vogt, L., Abel, C. and Kaiser, J.: Treadmill walking during vocabulary encoding improves verbal long-term memory, *Behavioral and Brain Functions*, Vol. 10, No. 1, p. 24 (2014).

[12] Schmidt-Kassow, M., Deusser, M., Thiel, C., Otterbein, S., Montag, C., Reuter, M., Banzer, W. and Kaiser, J.: Physical exercise during encoding improves vocabulary learning in young female adults: a neuroendocrinological study, *PloS one*, Vol. 8, No. 5, p. e64172 (2013).

[13] Tomporowski, P. D.: Effects of acute bouts of exercise on cognition, *Acta psychologica*, Vol. 112, No. 3, pp. 297–324 (2003).

[14] Pontifex, M. B., Hillman, C. H., Fernhall, B., Thompson, K. M. and Valentini, T. A.: The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 41, No. 4, pp. 927–934 (2009).

[15] 曾我啓史: 運動が認知機能に与える効果, 博士論文, 早稲田大学 (2018).