

eラーニング学習者の脚部動作計測に基づく 休憩タイミングの評価

照井 佑季¹ 後藤 和彦¹ 相川 大吾¹ 江木 啓訓^{1,a)}

概要: 本研究では、学習者に適切なタイミングで休憩の取得を促し、学習効果を向上させることを目的とする。近年、e-learningの普及や授業のオンデマンド化により、学習の形態が多様化している。事前に収録された講義動画を視聴するような形態の授業では、学習者は自分のペースで学習を進めることが可能である。その際、疲労の蓄積により学習効率が低下していくため、休憩を取得することで蓄積した疲労を解消し、学習効率を維持することが重要である。しかし、学習者が自身の疲労の蓄積を客観的に判断し、最適なタイミングで休憩を取得できるとは限らない。本研究では、脚部動作から学習者の疲労度を推定し、学習者に最適なタイミングで休憩を提案するシステムを開発した。システムによって提案されたタイミングでの休憩の取得が、学習者の学習効果に与える影響を調査した。学習者を提案手法群、連続学習群、自由休憩群の3群に分け、学習前後のテストの得点差の比較とアンケートによる評価を行った。調査の結果、システムによって提案されたタイミングでの休憩の取得が、学習者の疲労の解消に有効である可能性が示された。一方で、休憩の回数や時間が過多となることによる学習効果の低下が起こる可能性が示された。

Evaluation of break timing based on leg movement sensing of e-learning learners

1. はじめに

本研究では、学習者に適切なタイミングで休憩の取得を促し、学習効果を向上させることを目的とする。

近年、e-learningの普及や授業のオンデマンド化により、学習の形態が多様化している。事前に収録された講義動画を視聴するような形態の授業では、学習者は自分のペースで学習を進めることが可能である。教育現場において、講義中の学習者の集中力が、授業の進行とともに低下することが明らかにされている[1]。学習の進行に伴い蓄積した疲労が、学習者の集中力の低下を招く原因となっている可能性が考えられる。また、学習中の疲労度の高い学生はそうでない学生に比べて、学業成績が低い傾向があることが明らかにされている[2]。

蓄積した疲労を回復する手法として休憩の取得が挙げられる。教授者が授業中に短い休憩を実施することで、学習者の集中力の低下を抑えることができることが報告されて

いる[3]。しかし、自宅で映像講義を視聴するような個別で学習を行う学習形態においては、学習者は休憩を取得するタイミングを自分で決定する必要がある。学習活動によって蓄積した疲労を解消するため、ポモドーロ・テクニックを用いた方法など、短時間の休憩を挟みながら短時間の学習を繰り返すといった学習法がある。しかし、ポモドーロ・テクニックは休憩取得までの時間があらかじめ定められており、休憩による学習効果の向上が見込めるタイミングで休憩を取得することはできない。学習者に最適な休憩のタイミングはそれぞれ異なり、よりパーソナライズされたタイミングで休憩を取得することで、学習効果が向上するといった指摘がある[4]。しかし、学習者が自分の学習効果の向上に最適なタイミングを判断し、休憩を取得することは難しいと考えられる。学習者の疲労を推定し、疲労が蓄積したタイミングで休憩を取得することで、学習効果の向上が期待される。

疲労を推定する手法として、眼球の運動や瞬目、発汗量、心拍などの生体情報に基づいて多くの研究がなされている[5][6]。学習者のインタラクションは、Low-Level Interaction(以下、LLI)とHigh-Level Interaction(以下、HLI)

¹ 電気通信大学
The University of Electro-Communications
^{a)} hiro.egi@uec.ac.jp

に大別される [7]. 成績や演習・課題のパフォーマンスを用いた学習者の状態推定は HLI に分類され, 生体情報を用いた疲労の検出は LLI に分類される. LLI による状態推定には, 学習者の明確な意識を必ずしも伴わないという特徴がある. そのため, 学習中の何気ない行動に基づき, 学習者の疲労の検出を行うことが可能である. 生体情報を LLI として学習者の心理状態を推定する場合, 生体情報を取得するために特殊な計器が必要となる場合がある.

本研究では学習者が自宅などの環境で個人で学習することを想定しているため, 自宅に特殊な計器を設置することは現実的ではない. そのため, 学習環境への導入が容易で, 計器の利用が学習者の負担とならない方法で生体情報を取得する必要がある. 本研究では学習者の脚部動作を LLI として活用するため, 学習環境への導入が容易な脚部動作計測デバイスを開発した. また, 脚部動作計測デバイスで計測した学習者の脚部動作から学習者の疲労を推定し, 学習者に最適なタイミングで休憩の提案を行った. システムによって決定されたタイミングでの休憩の取得が, 学習者の学習効果に与える影響を調査した.

2. 関連研究

学習時の姿勢から, 学習者の集中度合いの推定を試みた研究がある [8]. kinect を用いて学習者の学習中の様子を記録し, 姿勢の変化を計測するシステムを開発している. 計測の結果, 学習者の集中力の低下と, 首を傾げる, 頬杖をつく, 椅子によりかかる, 足を組む, 座りなおす等の行動と相関があることが分かった. しかし, 被験者によって集中度を反映する行動が異なった. そのため, 集中度に伴う行動の変化の個人差を把握する必要性が挙げられている. 先行研究でも, 学習者の疲労度に伴う脚部動作に個人差が存在することが明らかにされている. 本研究では, 学習者の脚部動作の個人差による影響を受けにくい手法を用いて疲労度の推定を行う.

デスクワーク中の被験者の瞬目の頻度から疲労の推定を行い, 休憩のタイミングを決定した研究がある [5]. この研究では, 被験者が英語の翻訳を行っている最中の様子と, 疲労感の申告があったタイミングを記録している. 瞬目の累積回数と疲労感の申告タイミングから休憩のタイミングを決定し, コーヒーメーカーを用いた休憩タイミングの提示手法を提案している. しかし, 提示されたタイミングで休憩を実際に取得した際の効果の検証は行っていない.

これらの研究では, 被験者をカメラで撮影しているため, 可視光の映像記録による被験者への心理的な負担があると考えられる. 本研究では, 学習者の疲労を客観的に推定するため, 学習者の脚部動作を用いる. 脚部動作の計測は学習者への心理的な負担を軽減するため, 可視光を記録しない手法を用いる.

Aditi らは学習者に対して, 動的に決定されたタイミン

グで休憩を実施し, 学習効果への影響を調査している [4]. 小学 3 年生の被験者に対し, 40 分間の算数の演習を行わせ, その間に 2 分間の休憩を複数回実施した. 被験者は休憩を取得するタイミングで, 6 分ごとに休憩を実施する群, 解答時間や正答率の向上したタイミングで休憩を実施する群, 解答時間や正答率の低下したタイミングで休憩を取得する群の 3 群に分けられた. 調査の結果, 休憩のタイミングを動的に決定することで, 静的に決定されたタイミングで休憩を取得するよりも高い学習効果が得られる可能性が示された. しかし, Aditi らの研究では演習における学習者のパフォーマンスに基づいて休憩のタイミングを決定している. そのため, 学習者が定量的に評価可能な演習に取り組んでいる必要があるという制約がある.

籾木らは, デスクワークに取り組む被験者に対して, 動的に決定されたタイミングで休憩の提案を行うシステムの開発を行っている [9]. 被験者が装着した腕時計型のウェアラブルデバイスによって計測される加速度に基づき, 被験者の状態を散漫状態, 作業中, 停滞状態の 3 状態に分類している. システムは被験者が散漫状態, 停滞状態のいずれかに分類された時点で休憩の提案をおこなった. 実験の結果, 休憩の前後で被験者の活動状態が改善される場面が確認された. その一方で, デスクワーク中の腕の動きが多様であり, 被験者の状態の誤検知も多くみられた.

これらの研究ではいずれも動的に決定されたタイミングで休憩を実施することで, 学習効果・作業効率が得られることが示されている. 本研究では, 学習者の机上タスクの種類や動作に影響を受けない手法で, 学習者の疲労を推定し, 休憩を実施するタイミングを決定する.

3. 提案手法

本研究では, 学習者にとって適切なタイミングで休憩を提案するため, 学習者の脚部動作に着目する. 脚部動作は机上のタスクに関わらず計測可能という利点がある. 焦電型赤外線センサを机の天板の裏に設置し, 学習者に非接触な状態で脚部動作の計測を行う. そのため, 学習者のセンサ装着による心理的な負担や, 学習活動の阻害を考慮する必要がない.

本研究における疲労を「学習活動によって生起し, 休憩によって回復する一時的な学習活動を阻害するもの」と定義する. 先行研究より, 疲労の蓄積により, 脚部動作の時間が増加することが指摘されている [10]. 本研究では, 学習者に疲労が蓄積し, 集中力が低下している状態をシステムを用いて推定し, 休憩を実施する. 学習者に疲労が蓄積したタイミングで休憩を取得することで, 学習効果の向上が期待される.

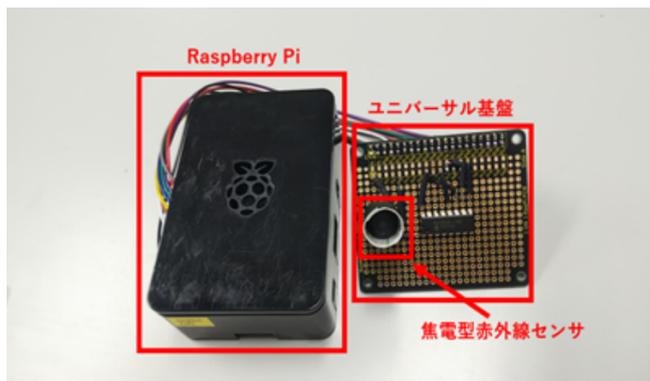


図 1 脚部動作計測デバイス

4. システム設計

4.1 脚部動作計測デバイス

学習者の脚部動作を計測するため、脚部動作計測デバイスを用いた。本研究で用いた脚部動作計測デバイスを図 1 に示す。シングルボードコンピュータ (Raspberry Pi 3B) と焦電型赤外線センサをユニバーサル基盤を用いて接続した。焦電型赤外線センサは検出範囲内の赤外線の変化量に相当する電圧信号を出力する。本システムは、焦電型赤外線センサの出力信号を AD コンバーター (MCP3208-CI/P) を用いて 0 から 1023 の値に変換し取得する。この脚部動作計測デバイスを、机の天板の裏に設置し、学習者の脚部動作を計測する。学習者の脚部動作の計測結果に基づき疲労度を推定する。推定した疲労度が閾値を超えたタイミングで、学習者に対して休憩の提案を行うことで学習効果の向上を図る。

4.2 学習者の疲労度の推定

本システムでは、学習者の疲労度の指標として学習者の脚部動作倍率を定義し、脚部動作倍率に基づき学習者の疲労を推定する。脚部動作計測デバイスの出力値を 10Hz で取得し、出力値から脚部動作時間、脚部動作倍率を算出する。以下の第 4.2.1 項、第 4.2.2 項で脚部動作時間、脚部動作倍率の算出方法を説明する。

4.2.1 脚部動作時間

システムが計測を開始してから、 n 個目の出力値 v_n を受信した時刻 t_n において、 v_n を含む直前 10 件の出力地の標準偏差 s_n を算出する。閾値 σ を基点とするステップ関数を用いて、 s_n を離散値に変換する。本システムで用いたステップ関数は式 (1) のように表され、 f_n の値が脚部動作の有無に対応する。

$$f_n(s_n) = \begin{cases} 1 & (s_n \geq \sigma) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

ある時刻 t_n において、 f_n を含む直近 T 件の f の総和 m_n を、時刻 t_n における脚部動作時間として扱う。脚部動

作時間 m_n は式 (2) のように表される。

$$m_n = \sum_{i=0}^T f_{n-1} \quad (n \geq T) \quad (2)$$

4.2.2 脚部動作倍率

先行研究より、脚部動作には個人差が存在することが明らかにされており、前節の脚部動作時間では個人差に対応することが難しい。そこで、脚部動作の個人差に関わらず、学習者の疲労を推定するため、脚部動作倍率を定義する。学習開始時から 180 秒間の脚部動作時間を m_{base} とすると、 m_{base} は式 (2) より、式 (3) で表される。

$$m_{base} = \sum_{i=0}^{1800} f_{1800-i} \quad (3)$$

これを基準脚部動作時間とする。学習開始時から 180 秒間における脚部動作時間の増加余地 r_{base} は、式 (4) で表される。

$$r_{base} = 1800 - m_{base} \quad (4)$$

時刻 t_n における脚部動作時間 m_n は、式 (5) で表される。

$$m_n = \sum_{i=0}^{1800} f_{n-i} \quad (5)$$

ここで、基準脚部動作時間に対する、ある時刻 t_n における脚部動作時間の変化量 Δm は、式 (6) で表される。

$$\Delta m = m_n - m_{base} \quad (6)$$

脚部動作時間の変化量を基準増加余地で除することで、脚部動作時間の変化量が基準増加余地に占める割合 P_n を求めることができる。 P_n は式 (7) で表される。

$$P_n = \frac{\delta m}{r_{base}} \quad (7)$$

これを脚部動作倍率と定義する。脚部動作倍率 P_n を用いて、個人差が存在する脚部動作時間を正規化し、学習者の疲労の推定の指標とすることができると考えられる。

4.2.3 閾値の設定

脚部動作計測デバイスを用いて脚部動作を検出する際に、式 (1) の閾値 σ を決定する必要がある。閾値 σ を決定するため、脚部動作計測デバイスを机の天板の裏に設置し、無人の状態でも 5 分間の計測を 3 回行い、その結果から $\sigma = 18$ を設定した。

休憩を提案するための閾値を決定するために、理工系大学の学部生および大学院生 9 名を対象に予備実験を実施した。全ての被験者が疲労を感じるように、ランダムなひらがな 5 字で構成される無意味単語の記憶課題を実施した。休憩を取得せずに、90 分間連続して課題を行い、その際の脚部動作倍率を算出した。実験中に全ての被験者に休憩を提案することを可能にするため、予備実験から得られた脚部動作倍率の最小値 $P = 0.2$ を休憩の提案を行う閾値として設定した。

5. 実験

本研究では、脚部動作倍率に基づいて学習者の疲労を推定し、学習者にとって最適なタイミングで休憩の提案を行う。最適なタイミングで休憩の提案を行うことで学習効果が向上するか検証を行った。

5.1 実験対象

被験者は予備実験に参加していない理工系大学の大学生および大学院生 30 名とした。被験者を 10 名ずつ、提案手法群、連続学習群、自由休憩群の 3 群に分けた。各群の被験者は、90 分間の映像講義を受講した。受講した映像講義の詳細は 5.3 節で後述する。

提案手法群は、脚部動作倍率が閾値に達した際に休憩を実施した。現在再生している節が終了した時点で映像講義を自動的に停止し、休憩の取得を促すメッセージが表示される。その間、被験者が勝手に映像講義の受講を続けることができないよう、画面は休憩の取得を促す指示が表示されている。自由休憩群は、被験者が休憩を取得したいと感じたタイミングで自由に休憩を実施した。手元のキーボードの任意のキーを押すと、提案手法群と同様の方法で映像講義の再生を停止する。無休憩群は、休憩の取得は行わず 90 分間の映像講義を視聴した。

提案手法群、自由休憩群が取得する休憩の時間は学習時間に含めず、1 回の休憩につき 5 分間とし、休憩中の行動については特に規定しなかった。また、休憩中はスマートフォンの操作以外の行動を制限しなかった。

5.2 実験環境

実験は提案手法群、自由休憩群、無休憩群の全ての群が同様の環境で行った。実験中の被験者の様子を図 2 に示す。被験者は、図 2 のように縦 85×横 85cm の机の前に着席し、23 型ワイド液晶ディスプレイ (アイ・オー・データ機器製 LCD-MF235XDBR) を用いて、映像講義を受講した。被験者の目とディスプレイの距離が約 50cm となるように、固定客の椅子の位置を調整した。

5.3 映像講義

本研究では、システムによる学習効果の向上を評価するため、資格試験の映像講義を受講した。被験者の既有知識の偏りによる結果への影響を防ぐため、食生活アドバイザーの資格試験を採用した。映像講義はスライドと音声によるもので、全 18 節で構成され、各節の平均視聴時間は 5 分である。映像講義の章立てを表 1 に示す。映像講義中の時間の経過を学習者に知らせないため、腕時計等の時間を確認できるものを外して実験に参加してもらった。

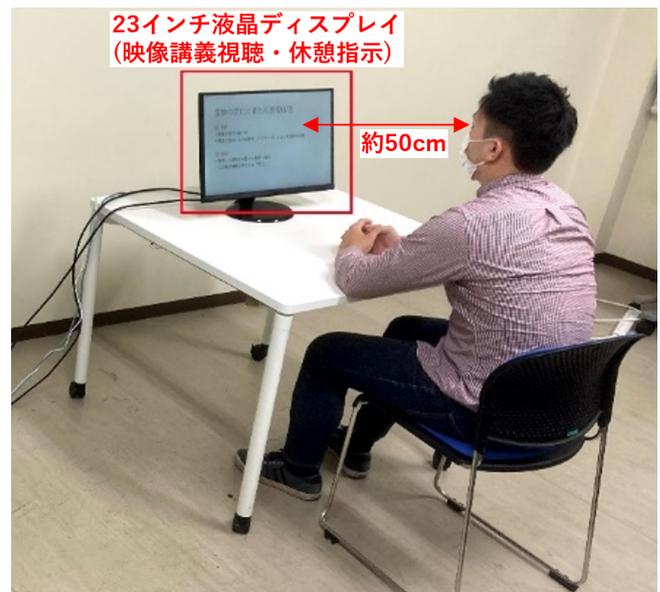


図 2 実験の様子

表 1 映像講義の章立て

1 章	1 節	栄養と栄養素
	2 節	ココロとカラダの栄養
	3 節	栄養学と食生活学
	4 節	3 大栄養素の役割
	5 節	ビタミンとミネラルの役割
	6 節	エネルギー代謝とダイエット
	7 節	食生活と病気予防
	8 節	栄養と休養
2 章	1 節	食品の種類と役割
	2 節	食品表示の種類
	3 節	加工食品の期限表示
	4 節	アレルギー表示と栄養成分表示
	5 節	食品マークとリサイクルマーク
	6 節	有機農産物・特別栽培農産物と遺伝子組換え表示
3 章	1 節	食中毒の種類と原因
	2 節	食中毒の予防
	3 節	殺菌と洗浄の基本
	4 節	食品の保存方法

5.4 評価方法

各群の被験者は、映像講義を視聴する前後に、資格に関する知識を問うテストに回答した。テストは、○×の 2 択の選択形式の問題を全 50 問ずつ用意し、どちらのテストも平均 27 点程度となるように難易度を調節した。解答時間は 10 分間として、時間内に解答が終了した際はその時点でテストを終了した。その後、被験者は実験に関するアンケートに 5 件法で解答した。提案手法群、連続学習群、自由休憩群に実施したアンケートをそれぞれ表 2、表 3、表 4 に示す。

6. 結果

実験終了時に被験者に回答してもらったアンケートの結

表 2 提案手法群のアンケート

質問	
Q1	講義の内容を理解することができた。
Q2	講義の内容が難しいと感じた。
Q3	講義の内容は自分の役に立つ内容だった。
Q4	講義の内容に関する事前知識があった。
Q5	集中して講義を視聴することができた。
Q6	事後テストは講義から得た知識を使用して解答した。
Q7	大学の遠隔授業 (オンデマンド型も含む) は、集中して受講している。
Q8	講義中の休憩のタイミングは適切であった。
Q9	講義中の休憩により疲労が回復した。
Q10	講義中の休憩により学習の効率が向上した。

表 3 連続学習群アンケート

質問	
Q1	講義の内容を理解することができた。
Q2	講義の内容が難しいと感じた。
Q3	講義の内容は自分の役に立つ内容だった。
Q4	講義の内容に関する事前知識があった。
Q5	集中して講義を視聴することができた。
Q6	事後テストは講義から得た知識を使用して解答した。
Q7	大学の遠隔授業 (オンデマンド型も含む) は、集中して受講している。
Q8	講義の受講中に休憩が欲しいと感じた。
Q9	もし講義の受講中に休憩を取得していたら、より内容を理解できたと感じる。

表 4 自由休憩群アンケート

質問	
Q1	講義の内容を理解することができた。
Q2	講義の内容が難しいと感じた。
Q3	講義の内容は自分の役に立つ内容だった。
Q4	講義の内容に関する事前知識があった。
Q5	集中して講義を視聴することができた。
Q6	事後テストは講義から得た知識を使用して解答した。
Q7	大学の遠隔授業 (オンデマンド型も含む) は、集中して受講している。
Q8	適切なタイミングで休憩を取得することができた。
Q9	講義中の休憩により疲労が回復した。
Q10	講義中の休憩により学習の効率が向上した。

果を表 5 に示す。映像講義を視聴している際に、椅子の位置や、座り方を大きく変えた被験者は存在しなかった。休憩の回数は、提案手法群が平均 6.6 回、自由休憩群が平均 1.9 回であった。また、休憩中の被験者は、机に突っ伏す、水分を補給する、ぼんやりとするとといった行動を取っていた。

映像講義を視聴している際の各群の脚部動作倍率の例を図 3、図 4、図 5 にそれぞれ示す。被験者が休憩を取得している間は脚部動作の計測を行っていないため、図 3、図 4 のように、休憩時と学習再開から脚部動作倍率が算出可能になる 180 秒間の脚部動作倍率は 0 とした。

表 5 アンケートの結果

質問	提案手法群		連続学習群		自由休憩群	
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.
Q1	3.60	0.70	3.70	1.06	3.80	0.63
Q2	2.80	1.23	2.70	0.82	2.50	0.97
Q3	4.50	0.53	3.80	0.42	4.30	0.95
Q4	3.20	0.63	3.50	0.71	3.20	0.79
Q5	2.80	0.92	2.70	1.16	3.00	1.33
Q6	4.80	0.42	4.20	0.63	4.40	0.52
Q7	2.60	0.97	2.22	0.44	2.50	0.97
Q8	2.89	0.93	4.50	0.53	3.10	0.88
Q9	3.78	0.97	4.00	0.47	3.90	0.99
Q10	3.78	0.97	N/A	N/A	3.80	1.03

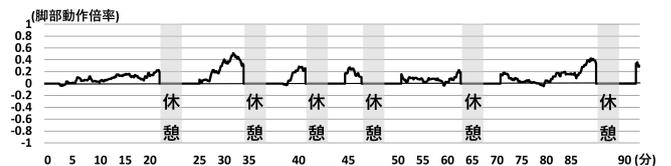


図 3 提案手法群の脚部動作倍率の例

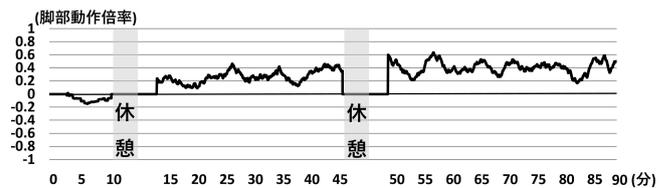


図 4 自由休憩群の脚部動作倍率の例

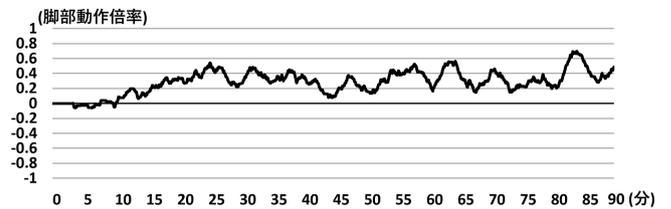


図 5 連続学習群の脚部動作倍率の例

表 6 事前/事後テストの結果および休憩回数

	事前テスト		事後テスト		得点差		休憩回数	
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.
提案手法群	27.3	4.06	36.5	3.60	9.2	4.87	6.6	4.03
連続学習群	27.7	2.41	37.7	3.80	10.0	3.83	N/A	N/A
自由休憩群	26.5	3.21	40.1	4.12	13.6	4.12	1.9	0.70

各群における事前テストと事後テストの結果と学習中に取得した休憩の回数を表 6 に示す。事前テストと事後テストの得点差の平均を図 6 に示す。

7. 考察

実験終了時に実施したアンケートの結果、被験者間に今回採用した資格に関する事前知識に大きな偏りは存在しなかったため、各群間で映像講義による学習効果の比較が可能であると考えられる。また、学習中の行動に関して、各

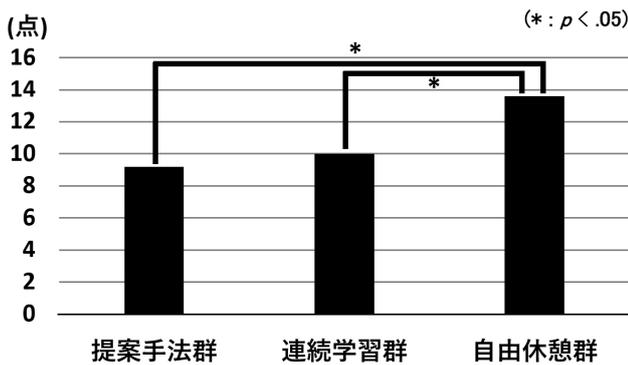


図 6 事前/事後テストの平均点

群の被験者の中に椅子の位置、座り方を大きく変えた被験者はいなかった。そのため、椅子や机、ディスプレイの高さなどの学習環境は、被験者の学習活動に大きな影響を与えていなかったと考えられる。

自由休憩群と連続学習群間の得点差の平均に有意な差が認められた ($t(18) = -2.02, p = 0.03$)。連続学習群のアンケートの自由記述から、「ずっと座った状態で集中を保つことは難しいと感じた」、「休憩が無かったため、途中から集中して聞くことができなかった」などの回答が得られた。連続学習群は 90 分間の学習中に一度も休憩を取得しなかったことから、講義の進行とともに疲労が蓄積し、学習効果が低下したと考えられる。

また、自由休憩群と提案手法群間の得点差の平均に有意な差が認められた ($t(18) = -2.18, p = 0.02$)。自由休憩群の平均休憩取得回数は 1.9 回であったのに対し、提案手法群の平均休憩取得回数は 6.6 回であった。1 回の休憩は 5 分間であるため、提案手法群は 90 分の映像講義に対して、30 分程度の休憩を取得していたこととなる。自由休憩群と提案手法群における学習者の休憩の取得方法は被験者により多様であったが、各被験者は自分の疲労の回復に適した休憩方法を選択しており、休憩の方法の違いによる学習効果への影響は小さかったと考えられる。提案手法群のアンケートの自由記述からは「休憩が多すぎてかえって集中ができなかった」、「休憩の時間が頻度のわりに少し長く、若干疲れを感じた」といった回答が得られた。提案手法群は休憩の取得が過多となり、映像講義への集中が阻害され、学習効果が低下したと考えられる。また、休憩時間が長く疲労を感じたという意見から、休憩を取得するタイミングだけでなく休憩を取得する時間も考慮に入れる必要があると考えられる。一方で、図 3 の提案手法群の脚部動作倍率をみると、休憩取得の前後で脚部動作倍率の値が減少していることがわかる。このことから、システムが提案した休憩のタイミングは、学習者の疲労の解消に有効なタイミングであった可能性が考えられる。

本研究では、休憩の提案に関して学習者の脚部動作のみに着目していた。しかし、学習内容や学習予定を考慮に入

れ、本システムによる休憩のタイミングを決定することで、学習効果を向上させることが可能になると考えられる。自由休憩群のアンケートの自由記述からは、「時間が分からなかったため、休憩と取るタイミングに悩んだ」、「時間を確認できないのがすごくストレスになった」といった回答が得られた。このことから、学習による疲労感ではなく経過時間に基づき休憩のタイミングを決めている学習者がいる可能性が考えられる。しかし、学習効果の維持・向上に最適な休憩取得の方略は明らかにされていないため、休憩取得の決定方略と学習効率への効果に関して調査を行う必要があると考えられる。

8. おわりに

本研究では、学習者の学習効果を向上させることを目的として、学習者に最適なタイミングで休憩の提案を行うシステムを開発した。脚部の動作から学習者の疲労度を推定し、システムによって決定されたタイミングでの休憩の取得が、学習者の学習効果に与える影響を調査した。90 分間の映像講義の受講前後でテストを実施し、提案手法群、自由休憩群、連続学習群の 3 群の得点差を比較した。調査の結果、システムによって決定された休憩の取得により、学習者の疲労の蓄積を解消する効果がある可能性が示された。その一方で、過剰な休憩の実施が学習者の集中を阻害し、学習効果の低下を招く可能性も示された。今後の課題として、学習者にとって休憩が集中の阻害とならないよう、脚部動作倍率の閾値を検討し、より最適な休憩のタイミングおよび時間を明らかにする必要がある。また、より多くの学習者のデータを収集し、学習内容や学習時間と脚部動作の関係の調査を進める。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 21K18496、21K02839 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Donald A. Bligh. *What's The Use of Lectures?* Penguin, 1972.
- [2] 中村浩一, 兒玉隆之. 学業成績の把握および学生教育管理のための POMS. *理学療法科学*, Vol. 28, No. 2, pp. 227-230, 2013.
- [3] J. III. Olmsted. The mid-lecture break: When less is more. *Journal of Chemical Education*, Vol. 74, No. 4, pp. 525-527, 1999.
- [4] Aditi Ramachandran, Chien-Ming Huang, and Brian Scassellati. Give me a break! personalized timing strategies to promote learning in robot-child tutoring. In *Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 146-155, 2017.
- [5] 東川知生, 山本景子, 倉本到, 辻野嘉宏ほか. デスクワーク時における瞬目に基づく疲労蓄積の検出と適切な休憩タイミングの提示. *情報処理学会研究報告*, Vol. 2012-HCI-146, No. 1, pp. 1-6, 2012.
- [6] 川村亮介, 武村紀子, 佐藤宏介. 発話時の表情変化に基づいた精神疲労の推定. *計測自動制御学会論文集*, Vol. 53, No. 1, pp. 90-98, 2017.

- [7] Hokyung Ryu and Andrew Monk. Analysing interaction problems with cyclic interaction theory: Low-level interaction walkthrough. *PsychNology Journal*, Vol. 2, pp. 304-330, 01 2004.
- [8] 亀井諭. 学習時の姿勢と行動の計測による集中度合いの推定. 中央大学大学院研究年報 理工学研究科編, Vol. 45, pp. 1-4, 2015.
- [9] 楠木寛史, 神場知成, 村上隆浩, 嵯峨智, 田中二郎. 消極的なメンバー間でも利用できるグループ休憩自動提案システム. 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-HCI-169, No. 2, pp. 1-8, 2016.
- [10] 相川大吾, 浅井康貴, 河端留奈, 江木啓訓. 学習者の脚部動作時間に基づく疲労感の推定手法. 教育システム情報学会誌, Vol. 37, No. 2, pp. 130-142, 2020.