

推薦論文

虚偽情報フィードバックを用いた生体情報の制御手法

中村 憲史¹ 片山 拓也¹ 寺田 努^{1,2,a)} 塚本 昌彦¹

受付日 2012年6月25日, 採録日 2013年1月11日

概要: 近年, 健康への意識の高まりから健康支援システムに対する注目が集まっているが, 従来の健康支援システムは生体情報をもとにアドバイスを送るような間接的な支援がほとんどであった. 本研究では, 健康支援システムが提示する情報の内容をユーザが疑わないことを活用し, プラセボ効果を用いて生体情報を操作する新しい健康支援システムを提案する. 本稿ではそのような健康支援システムを実現するために, 運動時や緊張時のように心拍が大きく変化する状況において虚偽情報をユーザに提示することにより生体情報に影響を与えられるか検証する. 評価実験の結果から, 虚偽情報の有効性はユーザにより異なるがその影響には一貫性があることや, 虚偽情報の種類により影響の大きさが異なることが確認された. また, 現在の心拍数とコンテキストにより, 自動で虚偽情報を生成し提示するシステムを実装した.

キーワード: 虚偽情報, 生体情報, プラセボ効果

A Method for Controlling Biological Condition Using Feedback of False Information

KENJI NAKAMURA¹ TAKUYA KATAYAMA¹ TSUTOMU TERADA^{1,2,a)}
MASAHIKO TSUKAMOTO¹

Received: June 25, 2012, Accepted: January 11, 2013

Abstract: Recently, health care systems have attracted a great deal of attention. However, conventional systems supports users indirectly, such as giving advice based on sensed biological information. This research proposes a new health care system that directly control biological condition by presenting false biological information. Our system utilizes the concept of placebo effect, which means the user believes the presented contents from the health care system. Evaluation results confirmed that the false information has a consistent but different effect for each user. Moreover, we implemented a prototype of health care system that automatically controls the false information.

Keywords: false information, biological information, placebo effect

1. はじめに

近年, 生活様式の欧米化による肉食の増加などの諸理由にともない, 今まで日本人に見られなかった大腸がんや乳がんの発病者が増加している [1]. 現在人々は健康面におけるさまざまな問題に直面しており, 人々の健康管理サービスに対する関心が高まっている. 健康管理サービスの例

として, Kuriyama らはセンサデバイスやモバイル端末から取得した生体情報を健康に関するドメインオントロジに基づいて推論を行いユーザに適した健康アドバイスを導出するシステム [2] を提案している. これは被験者にアドバイスを提示することにより, ユーザに適した行動を行わせることにより健康を目指すものである. また, 得能らは文字入力を手の上下運動で行うことにより体のエクササイズを行い, 健康を支援するシステム [3] を提案している. これはシステムを使うことで体を動かすという身体的要因に

本論文の内容は 2012 年 3 月のインタラクシオン 2012 にて報告され, 同プログラム委員長により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

¹ 神戸大学工学研究科電気電子工学専攻
Graduate School of Engineering, Kobe University

² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

a) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

より健康に対するアプローチを行っている．以上の例のように今までの健康支援システムはユーザにアドバイスをを行うものや体を動かすことを促すといったものがほとんどであった．

一方，医学の分野では，本物の薬と外見が同じで薬効がない偽薬を本物の薬と思い込ませたうえで服用させた場合，本物の薬であると思い込むことにより症状が改善されるプラセボ効果が存在する．本研究ではこのプラセボ効果の考え方を健康管理システムに適用し，具体的な身体的・生理的処置を行わなくても健康が維持できるシステムの構築を目指す．具体的には，生体情報を提示する健康管理サービスにおいてセンシングされた値と異なる値（以下，虚偽情報）を提示しても，ユーザは提示内容が正しいと思い込んでいるため結果として身体に影響を与えられる可能性がある．そこで，装着型生体センサから得られた測定値に対して目的に応じた処理を加え，虚偽情報として提示することで生体情報の操作を行うシステムを提案する．たとえば，重要な会議やプレゼンテーションの場では，緊張状態に至りやすく，その影響で意図したとおりの発表を行えない可能性がある．しかし，心拍数の上昇から緊張状態を検知した際でも心拍数はあまり変わっていないという虚偽情報を提示すれば，平常状態であると錯覚し，実際の心拍数も低下し，落ち着きを取り戻して円滑に発表を行えるかもしれない．また，居眠り運転が原因の交通事故が多数発生しているが，眠気により生じる心拍数の下降をシステムにより妨げて眠気を覚ますことで，事故を未然に防ぎ，安全に車の運転を行えるかもしれない．さらに，運動時では運動の目的により最適とされる心拍数を維持して運動を行わせるといったシステムも実現できると考えられる．

本研究では，生体情報として心拍数と採り上げ，心拍数を操作するための虚偽情報を提示するシステムを実装し，虚偽情報が生体情報に与える効果の検証を行った．検証の結果から，虚偽情報の有効性はユーザにより異なるがその影響には一貫性があることが確認され，心拍数を操作できる可能性を確認した．また，現在の心拍数とコンテキストを認識し，自動で虚偽情報を生成し提示するシステムを実装した．

本稿は，以下のように構成されている．2章で関連研究について説明し，3章では提案手法について述べる．4章では評価実験について説明し，5章では心拍数自動制御システムについて述べる．最後に6章で本稿をまとめる．

2. 関連研究

装着型センサから得られた生体情報を活用したシステムの例として，Ouchiらは，腕時計型生体センサを用いて，手首の加速度・脈波・皮膚温・皮膚電気反射（GSR: Galvanic Skin Reflex）を取得し，日常生活におけるユーザの生活状況を認識し，健康管理を支援するシステム LifeMinder [4]

を提案している．また，岩崎らの Affectphone [5] は生体情報を利用した新しいコミュニケーションシステムである．GSR を取得しベルチエ素子を用いて温度提示を行い，相手の心理状況を温度変化として自然に感じ取れる．Yasushiらは車のハンドルに取り付けた心拍センサにより眠気を予測するシステム [6] を提案している．このシステムでは，心拍数により平常・緊張・眠気を判定し，ユーザに眠気を自覚させることで事故を未然に防止する．このような研究により，生体情報の利用頻度が高まり，人々は生体情報の提示が便利なものであるという意識を持ちつつある．提案手法はこのようなセンサ値がユーザに信用されていることを利用し，虚偽情報により生体情報の制御を狙っている点で，類似の研究は筆者らの知る限り存在しない．

提案手法の基本アイデアであるプラセボ効果とは，薬効成分を含まないプラセボ（偽薬）をよく効く薬だと偽って投与された場合，治療効果や副作用などの効果が発生することである [7]．それに対して本研究は，正確な値を測定するという認識をユーザが持っているセンサを「医者」，提示する虚偽情報を「プラセボ」に見立てることでプラセボ効果と同じ効果を目指す．また，Kaptchukらはプラセボを患者がプラセボと認識して服用しても，効果が生じることを明らかにした [8]．これは医師がプラセボを投薬するという儀式的な医療行為が特異的な効果を有しているためであると推測されている．本研究においては提示するセンサ値が虚偽情報であることはユーザに知らせていないが，同様に虚偽情報であると知らせた場合においても生体情報を制御できる可能性がある．

3. 提案手法

本研究では日常生活において生体情報を常時提示する健康サービス上で動作するシステムを想定している．システム構成を図 1 に示す．システムは通常はユーザが装着したセンサから得られる値や履歴，それらに基づく健康管理のためのアドバイスを装着型ディスプレイなどに提示するが，生体情報の操作が必要な場面では虚偽情報を提示する．ユーザは提示されている生体情報の値は間違っていないと

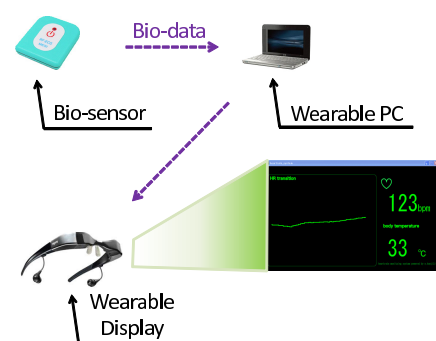


図 1 システム構成

Fig. 1 System configuration.

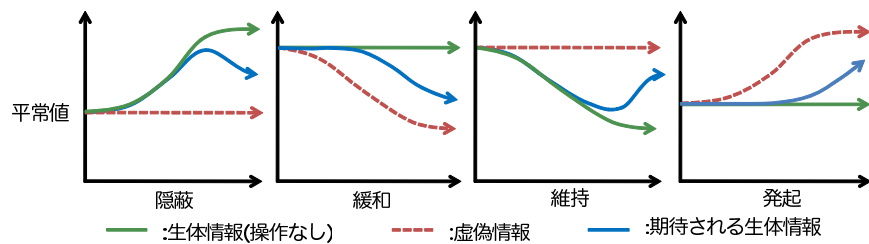


図 2 虚偽情報の種類

Fig. 2 Four types of false information.

いう先入観があるため、提示されている虚偽情報を正しい生体情報であると思ひ込むと考えられる。この思い込みによるプラセボ効果を利用して、意図的な生体情報の操作を行うことがシステムの目的である。

3.1 心拍数提示システム

本研究では、操作対象とする生体情報として心拍数を採り上げる。心拍数はユーザの健康状態や心理状態に関して有用な情報を含んでいるため、心拍数の操作によって多くのサービスが実現できる。たとえば、安静時において、人は交感神経が高まると心拍数が上昇し、副交感神経が高まると心拍数が低下する。交感神経は、緊張・興奮状態やストレスを感じているときに働くため、心拍数から緊張の程度が分かり、心拍数を操作すればその度合いを制御できると考えられる。また、安静時の心拍数が平均より高い人は低い人と比べ死亡率が高いことが報告されている [9]。つまり、ストレスを感じ心拍数が上昇するのは健康上望ましくない。そこで、会議での発表のような急激なストレスを感知したら心拍数を下げる健康管理サービスが実現できる。さらに、有酸素運動を行うときや肺活量を強化するときなど、運動の目的により適正とされる心拍数は異なるため、一般的には目的に応じて負荷を調整することが望ましいが、それには専門知識が必要である。提案システムを用いて心拍数を操作すれば、運動の目的に対して最適な心拍数を維持できる。

3.2 虚偽情報

提示情報を正しいと思わせるために、虚偽情報は自然な形で提示する必要がある。また、操作の目的に応じて提示すべき情報は異なる。提案する 4 種類の虚偽情報の生成手法と、それによって期待されるユーザの生体情報の変化を図 2 に示し、詳細を下記に説明する。

隠蔽：センサ値の異常を検知した場合に平常値と同じ値を提示し続ける。ユーザは同じ値を提示されているので、身体の変化に気づかず、生体情報のセンサ値は平常値に戻ると予想される。

緩和：異常値を示し続けている場合に平常値に近づくように値を加工する。ユーザは異常状態が緩和の方向に向かっ

ていると錯覚し、生体情報のセンサ値が平常値に近付くと予想される。

維持：異常値から平常値に近づく場合に異常値を持続しているように値を加工する。ユーザは異常値を提示されているので、身体は異常状態がまだ続いていると錯覚し、生体情報のセンサ値が異常値をとり続けると予想される。

発起：平常状態が続いている場合に徐々に異常値を示すように値を加工する。ユーザは身体が異常状態に陥ったと錯覚し、生体情報のセンサ値が異常値をとるようになると予想される。

提案システムではこれら 4 種類の虚偽情報を組み合わせることで意図する生体情報の操作を目指す。

4. 評価実験

本章では、前述したシステムの実現が可能かどうかを検証するために、各種の虚偽情報を提示した際の心拍数の変化を評価をした。また、一般に心拍数が変化する要因は、運動時などに十分な酸素を運搬するために心拍が変動する身体的要因と緊張などにより交感神経が活発になり血管が縮む精神的要因に分けられる。それぞれにおいて心拍数が変化する要因は異なり、虚偽情報の影響も異なる可能性があるため、本研究では運動時と緊張時それぞれについて実験を行う。

4.1 評価実験に用いたプロトタイプシステム

評価実験のために、虚偽情報を提示するプロトタイプシステムを実装した。本稿では、虚偽情報の身体への影響を Wizard-of-Oz 法を用いて検証する [10]。Wizard-of-Oz 法とは、人間 (Wizard) がシステムのふりをして被験者と対話することで、実際のシステムとの対話に近いデータを取得する手法である。被験者には、センサから取得された心拍数を提示していると伝えておくが、実際には被験者の心拍数の状況に合わせて心拍数を操作した虚偽情報を提示する。

プロトタイプシステムは、心拍数を取得するための生体センサとして GM3 社の RF-ECG [11] を用いる。このセンサは小型かつワイヤレス接続なので、胸につけるだけで筋肉または神経組織内の生体電気信号を検知して心電を計測

表 1 運動の内容
Table 1 Contents of exercising.

セット	運動（前半）	運動（後半）
1	60 rpm	80 rpm+発起
2	60 rpm	80 rpm
3	80 rpm	60 rpm
4	80 rpm	60 rpm+緩和
5	60 rpm+緩和	80 rpm+発起
6	60 rpm+発起	80 rpm+緩和



図 3 実験を行っている様子
Fig. 3 A snapshot of experimentation (1).

できる。虚偽情報生成方法としては、キーボードの操作により本来の心拍数に ± 1 [bpm] ずつ数値を付加できるようにした。この操作は無線キーボードを用いて遠隔から行い、情報提示は被験者がつねに心拍数を確認できるように、つねに目視できる場所で行う。

4.2 運動時の評価実験

運動時における提案システムの有用性の検証として 20 代の男子大学生 6 名がエアロバイクを用いて運動をした際の心拍数の変化を取得した。2 回の 10 分の運動の間に 5 分の休憩を挟んだ計 25 分を 1 セットとし、計 6 セットの運動を行った。ここで、表 1 に示すように、各セット内の前半と後半でエアロバイクの目標回転数設定（2 種類）と提示内容（2 種類）を変化させた。表 1 中の rpm (rotation per minute) とは、1 分間あたりのペダル回転数を示す単位である。1・5 セット目の後半の運動と 6 セット目の前半の運動は、運動開始から 1 分ごとに心拍数を 1 ずつ上げた値を虚偽情報として提示する。これは前章で述べた発起にあたる。4・6 セット目の後半の運動と 5 セット目の前半の運動は、運動開始から 1 分ごとに心拍数を 1 ずつ下げた値を虚偽情報として提示する。これは前章で述べた緩和にあたる。それ以外は、本来の心拍数をそのまま提示する。また、心拍数の提示画面はエアロバイクの正面に置いた。図 3 に実験の様子を示す。

4.3 結果と考察

取得した心拍の例として被験者 A の 1 セット目のグラフ

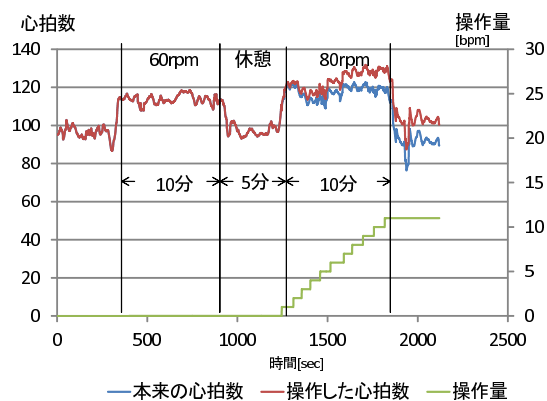


図 4 心拍数の変化（被験者 A の 1 セット目）

Fig. 4 Changes in heart rate (participant A at first trial).

を図 4 に示す。表 2、表 3 は虚偽情報を提示している区間における心拍数の 10 秒間の変化の平均（以降、虚偽情報時心拍）を縦軸の各要素のカッコ内に、虚偽情報を提示していない区間における同様の値（以降、実情報時心拍）を横軸の各要素のカッコ内に示している。また、得られた結果のすべての組合せにおいて、実情報時心拍に対して虚偽情報時心拍が増減した方向を矢印を用いて示し、すべてのデータに対して有意水準 5% の t 検定を行った結果、有意差があれば丸印を付与した。たとえば、表 2 の被験者 A の 4 セット目において、虚偽情報時心拍の値は -9.0×10^{-2} [beats/10 sec] で、実情報時心拍は -4.4×10^{-2} [beats/10 sec] であったことを示す。このとき、虚偽情報時心拍の値の方が有意に小さかったため、下向きの矢印と丸印を記している。

表から、虚偽情報時心拍と実情報時心拍のすべての組合せ 216 個のうち、131 個において有意差が表れたことが分かる。一方、実情報時心拍同士の組合せにおいて有意差が表れたのはすべての組合せ 180 個のうち 24 個であった。このことから、虚偽情報の提示により心拍数になんらかの影響が生じたことが分かる。

有意差が表れたデータを用いて個人別に虚偽情報の影響について考察すると、まず、被験者 A は緩和の虚偽情報を提示した場合、一貫して心拍数が下がり、発起の虚偽情報を提示した場合、一貫して心拍数も上がる。これは想定どおりの心拍数の動きである。被験者 B は緩和と発起どちらの虚偽情報を提示した場合でも一貫して心拍数が上がっている。これは被験者 B は心拍数の上昇させることで運動強度を高めたいという気持ちが働いたと考えられる。被験者 C・D は緩和の虚偽情報を提示した場合は心拍数が下がったが、発起の虚偽情報を提示した場合、心拍数の動きに一貫した方向性はなかった。これは、心拍数の上昇に対して反応もしくは関心がなかったと考えられる。また、身体的に運動時には心拍数を上昇させることができなかった可能性も考えられる。被験者 E は虚偽情報に対しての心拍数の動きは有意差は多く表れているものの、その方向はセットごとに異なっており、これは、セットごとに心拍数

表 2 60rpm 時の結果

Table 2 Evaluation results in 60 rpm.

	方向・有意差					
	1set	2set	3set	4set	5set	6set
被験者 A	2.5×10^{-2}	-5.2×10^{-3}	6.4×10^{-3}	4.4×10^{-2}	1.4×10^{-2}	3.4×10^{-3}
4set(-9.0×10^{-2}), 緩和	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○
5set(-1.0×10^{-2}), 緩和	↓	↓	↓	↓	↓	↓
6set(7.1×10^{-2}), 発起	↑	↑, ○	↑, ○	↑	↑, ○	↑, ○
被験者 B	1.9×10^{-2}	1.8×10^{-2}	-1.8×10^{-4}	-1.1×10^{-2}	1.7×10^{-2}	2.0×10^{-3}
4set(0.19), 緩和	↑, ○	↑, ○	↑, ○	↑, ○	↑, ○	↑, ○
5set(-7.5×10^{-3}), 緩和	↓	↓	↓	↑	↓	↓
6set(-1.5×10^{-2}), 発起	↓	↓	↓	↓	↓	↓
被験者 C	1.0×10^{-2}	1.2×10^{-2}	5.2×10^{-3}	1.0×10^{-2}	1.9×10^{-3}	6.3×10^{-2}
4set(3.3×10^{-3}), 緩和	↓	↓	↓	↓	↑	↓
5set(-4.7×10^{-2}), 緩和	↓, ○	↓, ○	↓	↑, ○	↓, ○	↓, ○
6set(-3.1×10^{-3}), 発起	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○
被験者 D	-1.5×10^{-3}	-1.5×10^{-3}	4.2×10^{-3}	4.8×10^{-3}	2.8×10^{-3}	1.2×10^{-2}
4set(-0.10), 緩和	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○
5set(-4.0×10^{-2}), 緩和	↓, ○	↓	↓	↑	↓, ○	↓, ○
6set(-6.9×10^{-2}), 発起	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○
被験者 E	1.3×10^{-2}	9.4×10^{-3}	1.4×10^{-2}	-4.3×10^{-3}	7.4×10^{-3}	2.9×10^{-2}
4set(8.5×10^{-2}), 緩和	↑, ○	↑, ○	↑, ○	↑, ○	↑, ○	↑, ○
5set(-4.2×10^{-2}), 緩和	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓	↓, ○	↓, ○
6set(9.0×10^{-3}), 発起	↓	↓, ○	↓	↑	↑	↓
被験者 F	-5.3×10^{-3}	3.2×10^{-3}	-3.4×10^{-3}	1.0×10^{-2}	1.1×10^{-2}	6.5×10^{-3}
4set(-2.8×10^{-2}), 緩和	↓	↓	↓	↓, ○	↓, ○	↓, ○
5set(-4.6×10^{-2}), 緩和	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○	↓, ○
6set(-2.7×10^{-2}), 発起	↓, ○	↓, ○	↓	↓, ○	↓, ○	↓, ○

表 3 80rpm 時の結果

Table 3 Evaluation results in 80 rpm.

	方向・有意差					
	1set	2set	3set	4set	5set	6set
被験者 A	2.4×10^{-2}	4.4×10^{-3}	8.3×10^{-4}	1.1×10^{-3}	-1.0×10^{-2}	1.3×10^{-2}
1set(-0.12), 発起	↓	↓	↓	↓	↓	↓
5set(5.3×10^{-2}), 発起	↑	↑	↑・○	↑・○	↑	↑
6set(-8.3×10^{-2}), 緩和	↓	↓	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○
被験者 B	-2.7×10^{-2}	2.6×10^{-2}	4.0×10^{-3}	-7.1×10^{-3}	-2.1×10^{-3}	-1.8×10^{-3}
1set(9.3×10^{-2}), 発起	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○
5set(-7.1×10^{-5}), 発起	↓	↓	↓	↓	↓	↓
6set(6.0×10^{-2}), 緩和	↑	↑	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○
被験者 C	4.6×10^{-2}	2.7×10^{-2}	1.9×10^{-2}	1.9×10^{-2}	3.5×10^{-2}	3.5×10^{-2}
1set(-4.2×10^{-2}), 発起	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○
5set(8.8×10^{-2}), 発起	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○
6set(-0.12), 緩和	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○
被験者 D	-7.2×10^{-3}	-5.3×10^{-3}	-8.0×10^{-4}	1.0×10^{-2}	-1.5×10^{-2}	7.5×10^{-3}
1set(3.1×10^{-2}), 発起	↑・○	↑・○	↑	↑	↑・○	↑
5set(9.8×10^{-2}), 発起	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○
6set(-4.5×10^{-2}), 緩和	↓・○	↓	↓	↓	↓	↓・○
被験者 E	1.3×10^{-2}	9.4×10^{-3}	1.4×10^{-2}	-4.3×10^{-3}	7.4×10^{-3}	2.9×10^{-2}
1set(8.5×10^{-2}), 発起	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○	↑・○
5set(-4.2×10^{-2}), 発起	↓・○	↓・○	↓・○	↓	↓・○	↓・○
6set(9.0×10^{-3}), 緩和	↓	↓・○	↓	↑	↑	↓
被験者 F	-5.2×10^{-2}	-1.0×10^{-3}	1.2×10^{-3}	5.9×10^{-3}	-7.1×10^{-3}	4.0×10^{-3}
1set(-5.1×10^{-2}), 発起	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○	↓・○
5set(5.1×10^{-3}), 発起	↑	↑	↑	↑	↑	↑
6set(-1.6×10^{-2}), 緩和	↓	↓	↓	↓	↓	↓



図 5 実験を行っている様子

Fig. 5 A snapshot of experimentation (2).

の下降・上昇に対するとらえ方が異なると考えられる。被験者 F は緩和と発起どちらの虚偽情報を提示した場合でも、一貫して心拍数が下がる。これは、被験者 F は心拍数を落ち着かせたいという気持ちがつねに働いていたと考えられる。以上より、虚偽情報に対する影響は個人ごとに異なるものの、それぞれ一貫した傾向があるため、あらかじめ各人のタイプが分かっていたらそれを考慮して心拍数を操作できる可能性が高いことが分かる。

4.4 緊張時の評価実験

緊張時における提案手法の効果を評価するため、被験者に多数の人の前で 30 分程度のプレゼンテーションを 2 回行わせる実験を行った。プレゼンテーション内容は、国際会議予稿集に掲載された論文を紹介するというものである。紹介する論文は被験者によって異なるものをそれぞれ 2 編用意した。1 回目はセンサ値から計算される本来の心拍数を被験者に提示し、2 回目は状況に合わせて Wizard-of-Oz 法により虚偽情報を提示した。被験者は 20 代の男子大学生 5 名であり、運動時における被験者と同じ被験者には同じアルファベットを付与している。実験を行っている様子を図 5 に示す。被験者には、緊張状態に至りやすい人と至りにくい人が存在すると考える。緊張状態に至りやすい人は心拍数の大きな変化が予想されるため、隠蔽、維持、緩和の虚偽情報が適用できる。一方、緊張状態に至りにくい人は心拍数の変化はあまりないと想定され、適用できる虚偽情報は発起となる。実際の実験時には、つねに被験者の心拍数を監視し、適宜その状態に適した虚偽情報を提示した。虚偽情報の提示の例として、図 6 に被験者 A の操作時における心拍数のグラフを示す。

4.5 結果と考察

表 4 に、2 回目のプレゼンテーションにおける虚偽情報の提示後から次の虚偽情報の提示までの区間の虚偽情報時心拍と、1 回目のプレゼンテーションにおける 2 回目のプレゼンテーションにおいて虚偽情報の提示後から次の虚偽情報の提示までの区間と同時間における実情報時心拍

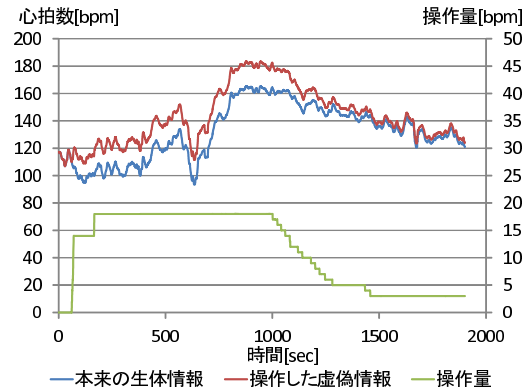


図 6 心拍数の変化 (被験者 A の 2 セット目)

Fig. 6 Changes in heart rate (participant A at second trial).

を示す。また、実情報時心拍に対し、虚偽情報時心拍が増減した方向を矢印を用いて示し、すべてのデータに対して有意水準 5% の t 検定を行った結果、有意差があれば丸印を付与する。たとえば、被験者 A には発起、緩和の順に 2 回の虚偽情報を提示した。2 回目のプレゼンテーションにおける発起の虚偽情報時心拍が 8.7×10^{-2} [beats/10 sec] で 1 回目のプレゼンテーションにおける実情報時心拍が 4.0×10^{-2} [beats/10 sec] となっている。つまり、虚偽情報を提示したときの値の方が大きく、この 2 つのデータに対して有意差があるため、上向きの矢印と丸印を記している。表から、全 16 個の組合せのうち 8 個に有意差が確認された。個人別に虚偽情報の影響について考察すると、被験者 A は発起・緩和・発起・緩和の順に虚偽情報を提示し、想定どおりに動いたのは前半の発起と緩和であった。また、後半の発起以外の 3 個データに対して有意差が見られた。被験者 C は発起・緩和・発起・緩和の順に虚偽情報を提示したが、想定どおりに動いたのは最初の発起のみであり、また、有意差が見られたのは発起と緩和のそれぞれ 1 個のデータのみであった。被験者 F は発起・緩和・緩和・発起の順に虚偽情報を提示し、1 回目の発起と 3 回目の緩和において想定どおりの変化が見られた。また、有意差が見られたのは 1 回目の発起のデータのみであった。被験者 G に提示した発起・緩和の虚偽情報および被験者 H に提示した 2 回の緩和の虚偽情報すべてにおいて、想定どおりに心拍数が制御できた。これらの結果から、被験者 A・G・H は虚偽情報の影響を受けている可能性が高く、被験者 C・F は虚偽情報の影響を受けにくかったと考えられる。これは提示される心拍数に対する信用性の違いや、プレゼンテーションにおける緊張のしやすさによる違いなどが理由として考えられる。また、情報の提示をスライドの側面の壁に行っているため、提示情報を定期的に目視できなかった可能性も考えられる。

次に虚偽情報の種類別に考察すると、発起については全 7 個のデータのうち想定どおりに動いたのは 4 個であり、そのうち 3 個に有意差が見られた。4 個のデータはすべて

表 4 プレゼンテーションにおける心拍数の変化量

Table 4 Evaluation results in presentation.

被験者 A	発起	緩和	発起	緩和
操作時	2.9×10^{-2}	-1.3×10^{-2}	-4.4×10^{-3}	9.9×10^{-3}
操作なし	-1.5×10^{-2}	4.9×10^{-2}	1.2×10^{-2}	-6.0×10^{-2}
方向・有意差	↑・○	↓・○	↓	↑・○
被験者 C	発起	緩和	発起	緩和
操作時	3.3×10^{-2}	-1.0×10^{-2}	3.2×10^{-2}	1.4×10^{-2}
操作なし	6.3×10^{-3}	-2.1×10^{-2}	0.14	-7.7×10^{-2}
方向・有意差	↑	↑	↓・○	↑・○
被験者 F	発起	緩和	緩和	発起
操作時	8.6×10^{-2}	-2.7×10^{-2}	-1.3×10^{-2}	-1.1×10^{-2}
操作なし	1.6×10^{-2}	-4.1×10^{-2}	-1.6×10^{-2}	2.0×10^{-2}
方向・有意差	↑・○	↑	↓	↓
被験者 G	発起	緩和		
操作時	8.7×10^{-2}	-4.2×10^{-2}		
操作なし	4.0×10^{-2}	-3.5×10^{-2}		
方向・有意差	↑・○	↓		
被験者 H	緩和	緩和		
操作時	6.0×10^{-2}	-0.11		
操作なし	7.7×10^{-2}	-3.3×10^{-2}		
方向・有意差	↓	↓・○		

プレゼンテーション開始直後の提示であり、これはプレゼンテーション開始直後が一番緊張しやすい場面であり、実際はそれほど緊張していなくても、虚偽情報を提示することにより緊張を錯覚させたためであると考えられる。緩和については全 9 個のデータのうち想定どおりに動いたのは 4 個であった。また、発起の虚偽情報を提示した後に虚偽情報として緩和を提示したデータは 5 個あるが、そのうち 3 個が想定どおりに動いていた。つまり、緩和の虚偽情報は緊張時における心拍数の上昇を緩和させる可能性があったと考えられる。

5. 心拍数自動制御システム

現在の心拍数とユーザ状況を判別し、自動で虚偽情報を提示するプロトタイプシステムを実装した。提案システムは、加速度センサとマイクをつけることにより、運動中、プレゼンテーション中、それ以外、の 3 状態を認識する。運動は Wearable Toolkit [12] を用いて加速度センサから判別し、プレゼンテーション中かどうかはマイクを用いて識別する。それぞれの状況においての心拍数に対し、適正な虚偽情報を提示する。プロトタイプシステムの画面を図 7 に示す。今回は運動時と緊張時において緩和と発起の虚偽情報を実装した。制御内容は下記のとおりとした。今回は想定どおりに虚偽情報が作用するユーザを対象としている。**運動時**：緩和として目標心拍数よりも高い心拍数になった際に 1 分間に 1 bpm ずつ下げて提示し、目標心拍数に近づける。また、発起として運動開始から 1 度も目標心拍数に達していないときに 1 分間に 1 bpm ずつ上げて提示する。

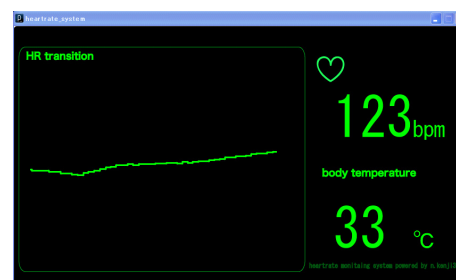


図 7 プロトタイプシステムの表示例

Fig. 7 A screenshot of the prototype system.

プレゼンテーション時：緩和としてプレゼンテーション開始から平常時の心拍数の平均よりも高くなれば、10 秒ごとに 1 bpm ずつ下げて心拍数を提示する。また、発起としてプレゼンテーション開始から平常時の心拍数を保っていれば、10 秒ごとに 1 bpm ずつ合計 10 bpm 上げて心拍数を提示し、ほどよい緊張感を与える。

このシステムを用いて追加実験を行った。運動の追加実験として被験者 B にエアロバイクを 10 分間、80 rpm で利用させた。その結果、提案システムは運動を始めてから 5 分後に発起の虚偽情報を提示した。4 章の実験と同様に評価すると、虚偽情報時心拍は 7.5×10^{-2} [beats/10 sec] で、実情報時心拍は 6.9×10^{-3} [beats/10 sec] であり、前者が有意に大きくなった。これは、被験者 B は虚偽情報を提示すると心拍数が増える一貫性があるという 4 章の実験と一致する結果となった。

次に緊張時の追加実験としての被験者 I に提案システムを利用してプレゼンテーションを行ってもらった。被験者

I の発表 10 分前の心拍数が 95 bpm 前後であったため、平常値を 95 bpm とした。その結果、開始直後に心拍数が急激に上昇したために、緩和の虚偽情報が提示された。4 章の実験と同様に評価すると、緩和の虚偽情報を提示後の虚偽情報時心拍は -2.0×10^{-2} [beats/10 sec] で実情報時心拍は -1.0×10^{-2} [beats/10 sec] であり、前者の傾きは有意に小さくなった。したがって、緊張時における提案システムの有効性が確認できた。

6. 安全性の考慮

本システムを利用するうえでさまざまな危険性が考えられる。運動時において発起などの心拍数上昇を狙った虚偽情報は、心肺機能が弱っている高齢者にとって心肺を圧迫する可能性がある。緩和などの心拍数下降を狙った虚偽情報は、運動強度を高め極限まで追い込むトレーニングを行うアスリートにとって、過度の運動を導いてしまう可能性がある。また、緊張時では、発起の虚偽情報により過度の緊張を導き、過呼吸などを引き起こす可能性がある。これらの危険性については、システム側で適切な処理を行うことが必要になってくる。たとえば運動時の評価実験の被験者 B のように、緩和に対して逆に心拍の上昇を見せるようなタイプのユーザには、心拍上昇を検出した際に緩和の提示をキャンセルするといった制御が必要となる。その他の虚偽情報に関しても、あらかじめ年齢やユーザの心拍変化特性を把握し、危険であると考えられる心拍の変化があった場合には虚偽情報の表示をキャンセルすることが必要となる。また、虚偽情報の提示に加えて、運動に対するアドバイスなど付加情報を提示することで、より安全に同様の効果を実現するシステムが構築できる可能性があるため、今後は虚偽情報と周辺情報の提示のバランスがユーザに与える影響などについても考察していく予定である。

7. おわりに

本研究では、医学におけるプラセボ効果を応用し、装着型センサから得られる生体情報の値に処理を加え、虚偽情報としてユーザに提示することで、ユーザの生体情報を操作するシステムを構築した。本稿では、提案システムを用いて操作する生体情報として心拍数を採り上げ、運動時と緊張時において提示した虚偽情報がユーザに与える影響を調査した。結果から、個人ごとに虚偽情報に対する影響が異なるものの、一貫して虚偽情報から影響を受けるユーザが多いことを確認した。また、状況に応じて自動的に虚偽情報を提示するシステムを実装した。

一方、筆者らの仮定に反した心拍数の動きを示した事例も存在した。これは、個人差や、疲労の蓄積など実験環境の問題があったと可能性がある。そこで、今後は多くの被験者に対して評価実験を行い、虚偽情報に影響を受ける人の割合や個人差の生まれる原因を追究する。さらに、心拍

数以外の生体情報についても評価を行い、操作できる生体情報の種類についても考察を行う。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（さきがけ）および文部科学省科学研究費補助金基盤研究（A）（20240009）によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 増田英樹：潰瘍性大腸炎の治療—外科医の立場から、日大医学雑誌, Vol.69, No.2, pp.99–105 (2010).
- [2] Kuriyama, D., Izumi, S., Itabashi, G., Kimura, S., Ebihara, Y., Takahashi, K. and Kato, Y.: Design and Implementation of a Health Management Support System Using Ontology, *Proc. International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2007)*, pp.746–749 (2007).
- [3] 得能俊幸, 郷健太郎: FIToNe: 文字入力運動による健康支援システム, 電子情報通信学会東京支部学会研究発表会, p.34 (2008).
- [4] Ouchi, K., Suzuki, T. and Doi, M.: LifeMinder: A Wearable Healthcare Support System Using User's Context, *Proc. IEEE International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC 2002)*, pp.791–792 (2002).
- [5] 岩崎健一郎, 味八木崇, 暦本純一: AffectPhone: 生体情報を利用した電話機型プレゼンス提示装置, 情報処理学会インタラクティブ 2010 論文集, SA01 (2010).
- [6] Yasushi, M. and Yanagidaira, M.: Estimating Sleepiness during Expressway Driving, *Journal of International Society of Life Information Science*, Vol.21, No.2, pp.442–448 (2003).
- [7] 中野重行: 臨床薬功評価: Placebo をめぐる諸問題のポイント, 臨床薬理, Vol.2, pp.611–615 (1995).
- [8] Kaptchuk, T.J. et al.: Placebos without Deception: A Randomized Controlled Trial in Irritable Bowel Syndrome, *PLoS One*, Vol.5, No.12, Published online (2008).
- [9] Levine, H.J.: Rest Heart Rate and Life Expectancy, *J. Am. Coll. Cardiol.*, Vol.30, No.4, pp.1104–1106 (1997).
- [10] 岡本昌之, 山中信敏: Wizard of Oz 法を用いた対話型 Web エージェントの構築, 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.293–300 (2002).
- [11] RF-ECG, available from <http://www.gm3.jp/>.
- [12] Wearable Toolkit Home Page, available from <http://wearable-toolkit.com/>.

推薦文

インタラクティブ 2012 では、87 名から構成されるプログラム委員会によって投稿数 43 件の中から優秀な論文 18 件を一般講演発表として採択し、インタラクティブ発表は 149 件の投稿から 19 件をファイナリストとして選出いたしました。本論文は、これらの 37 件からさらにプログラム委員会による投票によって、論文誌に推薦すべき論文であるとの評価を得たものであり、論文誌編集委員長としてもぜひ推薦したいと考えました。

(インタラクティブ 2012 プログラム委員長 宮下芳明)



中村 憲史 (学生会員)

2011 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2013 年同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程修了予定。



片山 拓也 (学生会員)

2008 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2010 年同大学大学院博士前期課程修了。2013 年神戸大学大学院工学研究科博士後期課程修了。コンテキストウェアサービス、ユーザインタフェース、ウェアラブルコンピューティングの研究に興味を持つ。



寺田 努 (正会員)

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年より同講師。2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事。2005 年には同機構事務局長を兼務。2004 年には英国ランカスター大学客員研究員を兼務。博士 (工学)。アクティブデータベース、ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、日本データベース学会、ヒューマンインタフェース学会の各会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業。1989 年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ (株) 入社。1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師。1996 年同専攻助教授。2002 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授。2004 年神戸大学電気電子工学科教授となり、現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE 等, 8 学会の会員。