

心拍数制御を用いた運動支援ゲーム

益子 宗[†]

星野 准一[‡]

[†] [‡] 筑波大学大学院 システム情報工学研究科

[†] 日本学術振興会特別研究員

[‡] 科学技術振興事業団

あらまし 運動が不足すると健康が阻害されることが知られ、室内で手軽に利用できる運動器具が普及している。しかし、どのような運動をどれくらいの時間行えばよいかといった運動処方を知るためには専門的知識が必要であり、過度な運動による事故や十分な運動効果を得ることが困難であった。そのため、運動効果が得られるように運動器具の負荷を自動制御するフィットネスマシンや、運動にゲーム性をもたせることで継続的な運動を促すことが提案されている。しかし、運動が単調であるために運動の達成感が得られず運動を継続できないことや、あらかじめ設定されたゲームの難易度が個人の運動習慣や心肺能力によって異なる有効心拍数を考慮していないために、ユーザによっては十分な運動を行うことができず運動効果が得られないといった問題があった。そこで本研究では、実時間で計測したゲームプレイ中のユーザ心拍数を運動強度の指標とし、心拍数に応じてゲーム内容を動的に変更することで、ユーザ個々にあった運動効果と運動達成感を与えるゲーム制御手法を提案する。最後にボクササイズにゲーム要素を付加したフィットネス支援ゲームを構築し、評価を行なう。

キーワード フィットネス, ボクササイズ, 心拍数, 画像認識, ゲーム

An Exercise Game Reflecting Heart Rate

Soh MASUKO [†]

Junichi HOSHINO [‡]

[†] [‡] Systems & Information Engineering, University of Tsukuba

[†] JSPS-DC

[‡] JST

Abstract It is known that lack of exercise is detrimental to health, and various exercise machines which people can use easily in a room are available. But, it was difficult to get enough effects from exercise. Because expertise was necessary to ascertain what kind of exercise should have performed and how long we should exercise. Therefore, fitness machines with automatic controls are developed so that people can exercise efficiently, and exercise programs are designed with game elements to encourage regular exercise. However, there were problems that monotonous exercise makes it difficult for people to experience a sense of accomplishment, and if the degree of difficulty of the game is not set properly, people cannot perform the appropriate amount of exercise. Then we propose the exercise game, which measures the player heart rate in real time while playing a game and the contents of the game are actively adjusted, based on heart rate. Thus allowing users to perform sufficient amounts of exercise and experience a sense of accomplishment. Finally, we design an exercise game using the proposed method and evaluate.

Keyword fitness, boxing, heart rate, computer vision, computer game

1. はじめに

運動が不足すると、体力低下や生活習慣病が起り、健康が阻害されることが知られ、第3次国民健康づくり対策「健康日本21」では健康運動や身体活動への取り組みを重点課題に掲げ、運動習慣者の増加を目標としている[1]。そのため、フィットネスジムに通うことや、エクササイズバイクといった室内で手軽に利用できる運動器具が普及している。しかし、どのような運動をどれくらいの時間行えばよいかといった運動処方を知るためには、スポーツ医学や運動生理学の専門的知識が必要であるため、過度な運動による事故や、運動による十分な効果を得ることが困難であった。そのため、運動効果を実感することが難しく、運動の効果感よりも運動の単調さや疲労などといった負担感が大きく、継続して運動を行なうことができないことが問題となっている[2][3]。

そのような問題を解決するために、ゲーム要素を付加することで運動達成感を高め、継続的な運動を促すことや[4-6]、効果的な運動を行なうために、利用者の心拍数や筋電の変化により運動負荷を制御することが行なわれている[7][8][9]。しかし、運動習慣や心肺能力といったユーザの個人差を考慮にいれたゲーム難易度が設定されていないために運動効果が得られないことや、運動が単調であるために運動の達成感が得られず運動を継続できないといった問題があった。

そこで本研究では、個人の運動習慣や運動能力によって異なる有効心拍数を考慮するために、実時間で計測したユーザ個々の心拍数に応じてゲーム内容を動的に変更することで、運動効果と運動達成感を提供するフィットネス支援ゲームを構築する[10]。本研究ではストレス解消にも有効で運動効果が高く、手軽に始められるボクササイズにゲーム要素を付加

したシステムを構築し、評価を行なう。

1.1. 関連研究

1990年の時点の米国スポーツ医学会(American College of Sports Medicine:ACSM)の指針[11]では、健康成人の健康や体力増強には中程度～強度の有酸素運動を1日20～50分間、週に3～5日行なうことが良いとされている。近年は筋力や筋持久力を高めるレジスタンス運動、筋骨格系の柔軟性を高めるストレッチ運動の併用による効果も認識されるようになってきたが、心拍数を運動強度の指標として適切な有酸素運動を行なう心拍トレーニングの研究が盛んに行なわれている。

佐々木らの研究では、利用者の運動時の心拍数と表面筋電図とをモニタリングすることで、中高年者向けの自転車エルゴメータ負荷制御法を提案している[7]。大野らは Sony 社の AIBO の散歩動作を制御することで、エアロビクスに最適な心拍数を維持することを提案している[8]。しかし、これらの負荷制御法は、一定の心拍数を維持する単調な運動になりやすいため、運動の面白さや達成感が得られず、継続した運動習慣を得ることが困難である。

一方、運動の面白さや達成感を上げることで、継続した運動をうながす研究も行なわれている。MokkaらはエクササイズバイクでVR空間を探索するシステムを構築し、視覚的な楽しさを提供している[5]。また、ボクシングやダンス要素を取り入れたフィットネスゲーム[6]が提案され、耳につけた無線心拍センサーから得られたユーザの心拍数を表示し、ユーザが有酸素運動できているか確認できる工夫も行なわれている。しかし、これらのフィットネスゲームでは、運動内容や運動時間から計算される標準的な消費カロリーを計算するに留まっており、ユーザ心拍数をゲーム・運動内容に反映するなど、運動習慣の有無や心拍数の時間変化を考慮した運動強度には注目されていない。そのため、ユーザによっては有効な運動となる心拍数に達することができないなど、効果的な運動を行なうことが困難であった。

2. システム概要

システムの概要を図1に示す。ユーザは画面に表示されたゲームに従い、左右ストレート、左右アッパー、左右フック、ウェービングといった7種の基本的なボクササイズ動作を行う。ユーザのボクササイズ動作はカメラ(io data USB-CCD 25万画素 30fps 320x240)から得られる動画像から検出し、ユーザの心拍数は胸に付けた心拍計(polar社製 s810i)から実時間でシステムに入力される。

運動効果のある運動を行うためには、運動効果が得られる有効心拍数を維持する必要があるため、本研究ではKarvonenの式(1)により求める[12]。

$$\text{有効心拍数} = (\text{最大心拍数} - \text{安静時心拍数}) \times k + \text{安静時心拍数} \quad (1)$$

本システムでは健康維持を目的とするためkの値は40%～

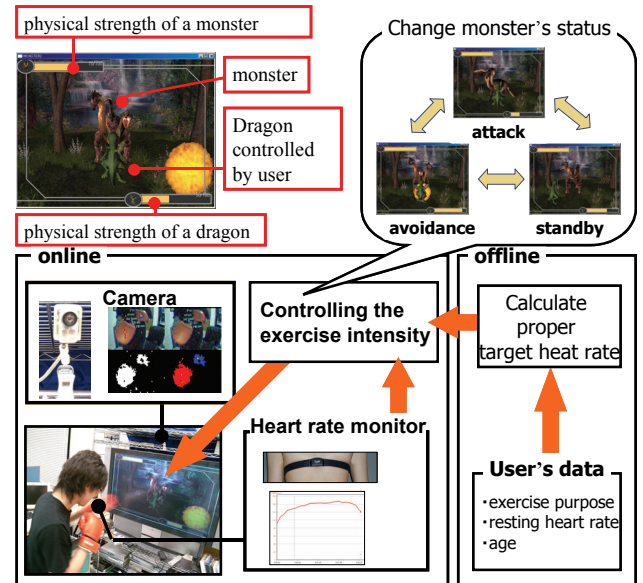


図1.システムの概要

Figure 1. System overview.

60%とした。ただし、 $k=50\%$ の時の有効心拍数 HR_{base} を基準とし、 $k=40\%$ の時を HR_{min} 、 $k=60\%$ の時を HR_{max} と呼び、現在の心拍数が $HR_{min} \sim HR_{max}$ 内にある場合効果的な運動ができているものと判断する。従来手法では単純に HR_{base} を目標心拍数に設定し、目標心拍数を維持するような運動を行うが、単調な動作になり運動効果感が少ないため、4章で述べる達成感の得られやすい運動パターンになるように目標心拍数を運動時刻によって変更する[7]。

また、運動の負荷は、① HR_{base} より心拍数を上げる運動 (以後、高負荷運動) と② HR_{base} を維持する運動 (以後、中負荷運動)、③ HR_{base} より心拍数を下げる運動 (以後、低負荷運動) の3つの運動を組み合わせ、ユーザに体験させることで制御する。これにより、現在の心拍数を目標心拍数と比較し、ゲーム内容を動的に変更することが可能となり、ユーザに有効な運動を行せることが可能となる。

3. 運動負荷の制御手法

運動負荷を制御するために、高負荷、中負荷、低負荷の3つの運動を決定し、組み合わせることで行なう。そのため、本章では実験により、7つのボクササイズ動作の種類と、1動作中に何回動作を表出するかとの組み合わせにより運動負荷パターンを決定する。また、これらの運動負荷パターンを組み合わせ体験させることで運動負荷を制御する手法を提案する。

3.1. ボクササイズ動作と心拍数変化

実験では図2に表した12種の動作パターンをユーザに継続させ、心拍数が安定してから1分間の心拍数の変化を計測した。ただし、運動前には十分なストレッチ、運動後にはクールダウンを行い、運動がきつくなった時点で実験を終了す

るように安全性に注意した。また、各運動パターン間には5分の休息時間を設定し、心拍数が運動前の値に回復してから次の運動を実施した。

実験では日常的に運動を行っていない大学生3人(男:女=2:1, 右利き)に運動を行なわせた。図2に計測された被験者①(20代男性), 被験者②(20代女性), 被験者③(20代男性)の平均心拍数を示す。図2中のRS, LS, RH, LH, RU, LU, Wはそれぞれ、右ストレート, 左ストレート, 右フック, 左フック, 右アッパー, 左アッパー, ウェービングを意味する。また、本研究では、1回の動作で1回パンチを出す場合「単発」、2回パンチを出す場合「コンビネーション」、3回以上のパンチを出す場合「連打」と呼ぶ。

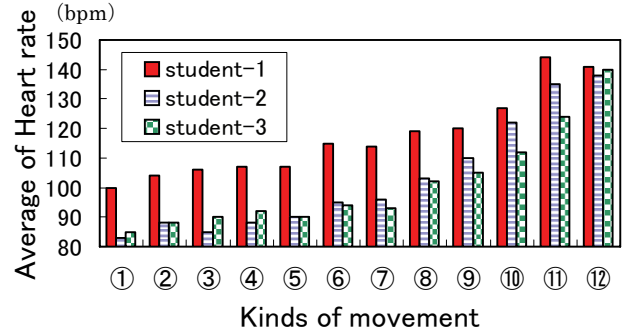
実験により「ウェービング」、「単発」、「コンビネーション」、「連打」の順に平均心拍数が高くなる傾向が見られたため、「連打」は高負荷、「コンビネーション」は中負荷、「単発」「ウェービング」は低負荷な運動負荷パターンであると定義する。ただし、図2中②~⑦により被験者3人ともに左右のパンチを行った時の平均心拍数に優位な差が見られないため、システムの簡略化のため左右のパンチによる運動強度の差はないと仮定する。また、単発のパンチごとの平均心拍数は被験者3人ともにアッパーが若干高くなる傾向が見られるが、いずれも HR_{base} を超える心拍数に達せず低負荷の運動パターンに分類できるため、パンチの種類や表出順序による運動強度の差はないものとする。被験者1の平均心拍数が他の2名より高い傾向が見られるが、被験者1の安静時心拍数が他の2名の安静時心拍数より高かったためと考えられる。

3.2. ユーザ心拍数の制御

ユーザの心拍数を制御するために、3つの運動負荷パターンを目標心拍数と現在の心拍数を比較し選択することで、ユーザに体験させる。現在の心拍数が目標心拍数+10以上である場合、心拍数を下げる運動(低負荷)を行い、目標心拍数-10以下である場合心拍数を上げる運動(高負荷)を行う。また、目標心拍数±10以内の場合、心拍数を維持する運動(中負荷)を行う。実験により得られた3つの運動負荷パターンを、単純に切り替えた場合、目標心拍数-10以下の場合、目標心拍数-10以上になるまで「連打」のみを繰り返すことになる。そのため、本手法では3つの運動負荷パターンの出現頻度を式(2)~(4)により調整し、目標心拍数にユーザの心拍数を維持させる(図3)。

$$R_h = \begin{cases} 0.8 & (HR_n < HR_t - 10) \\ -0.07(HR_n - HR_t) + 0.1 & (HR_t - 10 \leq HR_n < HR_t) \\ 0.1 & (HR_t \leq HR_n) \end{cases} \quad (2)$$

$$R_m = \begin{cases} 0.1 & (HR_n < HR_t - 10) \\ 0.07(HR_n - HR_t) + 0.8 & (HR_t - 10 \leq HR_n < HR_t) \\ -0.07(HR_n - HR_t) + 0.8 & (HR_t \leq HR_n < HR_t + 10) \\ 0.1 & (HR_t + 10 \leq HR_n) \end{cases} \quad (3)$$



- ①W ②RS ③LS ④RH ⑤LH ⑥RU ⑦LU
- ⑧LS→RS ⑨LS→RH ⑩LS→RU ⑪RS→LS→LH
- ⑫LS→RS→LS→RS→LS→RS
- RS:右ストレート, LS:左ストレート
- RH:右フック, LH:左フック
- RU:右アッパー, LU:左アッパー
- W:ウェービング

図2. ボクササイズ動作と平均心拍数

Figure 2. Average of heart rate and boxercise movement.

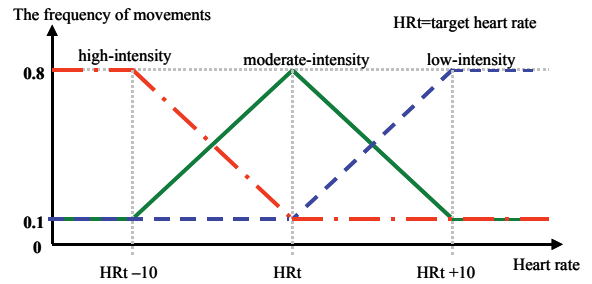


図3. 目標心拍数を維持する運動負荷パターンの制御

Figure 3. The frequency of movements to maintain target heart rate of users.

$$R_l = \begin{cases} 0.1 & (HR_n < HR_t) \\ 0.07(HR_n - HR_t) + 0.1 & (HR_t \leq HR_n < HR_t + 10) \\ 0.8 & (HR_t + 10 \leq HR_n) \end{cases} \quad (4)$$

ただし、 R_h , R_m , R_l はそれぞれ、高負荷(連打)、中負荷(コンビネーション)、低負荷(単発, ウェービング)の運動負荷パターンの出現確率、 HR_t は目標心拍数、 HR_n は実時間で得られるユーザの心拍数を表す。

例えば、目標心拍数が120の場合、現在の心拍数が100であれば高負荷の運動が80%、中負荷、低負荷の運動がそれぞれ10%の確率で選択され、ユーザが選択された運動を行う。また、運動負荷の出現確率は一動作が終了した時点でユーザの心拍数と目標心拍数を比較し再計算される。

4. 運動達成感と運動パターンの関係

式(1)により得られた有効心拍数を維持する運動を行った場合、「運動が単調」「負荷が軽すぎる」など運動に対する達

成感を得ることが不十分であるとされている。佐々木らは運動負荷がほぼ一定の値で推移し始めてから、一時的に高負荷の運動をさせることで達成感が増すことを示唆している[7]。しかし、高い心拍数を維持する運動を行う頻度、時刻と達成感との関係について述べられていない。そのため本章では、どのような負荷制御によって運動達成感が高まるのかを知るために、有効心拍数を維持する運動パターンと、一時的に運動負荷を高める 4 つの運動パターンを行なった後、POM (Profile of Mood States : 気分プロフィール検査) による気分変化調査、アンケート調査を行った。

ただし、実験では画面上に表示すべきパンチに対応するマークを表示し、ユーザにボクササイズ動作を促す簡易なゲームを用いた(図4)。ゲームを簡易にすることで、ゲーム自体の面白さの影響を軽減し、運動の達成感のみを評価することが可能となる。また、5つの運動パターンをユーザに提供するために、3.2で述べた目標心拍数の値を運動時刻により変化させ、3つの運動負荷の出現確率を調整する。一時的に運動の負荷を高めるために、 HR_{max} を目標心拍数に設定し、その時の運動を最大有効運動と呼ぶ。それ以外の時刻は目標心拍数に HR_{base} を設定し運動を行う。

4.1. 目標心拍数の設定による運動パターン制御

実験では5種の運動パターンを被験者に継続させ、心拍数の変化を計測した。被験者は日常的に運動を行っていない4人(男:女=2:2)の大学生(右利き)で、軽い運動で心拍数を目標心拍数付近で一定にさせた後、運動パターンに沿った3分間の運動を行なわせた。パターン1は目標心拍数を HR_{base} に設定し、運動生理学的に理想とされている心拍数を維持するものである。パターン2は運動前半の1分間に、パターン3は運動後半の1分間に最大有効運動を行うパターンである。パターン4は最大有効運動の頻度を少なく、パターン5は最大有効運動の頻度を多くした場合である。ただし、パターン4では1分間に20(s)の最大有効運動を1回、パターン5では1分間に10(s)の最大有効運動を2回行うものとし、最大有効運動を行う合計時間は両パターンとも等しく1分とした。

5つの運動パターンを体験した時の被験者②の心拍変化の様子を図6に示す。ただし、被験者②の HR_{min} , HR_{base} , HR_{max} は式(1)によりそれぞれ、109, 122, 134と求められた。パターン1では運動開始60(s)付近で HR_{min} に到達しており以後 $HR_{min} \sim HR_{max}$ の間の心拍数を維持することができている。これは、心拍数は運動に時間差なしで追従するものではなく、タイムラグがあるためと考えられる。パターン2では運動前半において目標心拍数を HR_{max} に設定しているため高負荷の運動頻度が多く、60(s)で HR_{max} に到達し、後半にかけて HR_{base} に近づくように心拍数が制御されていることがわかる。ただし、約60(s)~70(s)では HR_{max} を超える運動となっているが、本システムで定義している HR_{max} は健康維持のための心拍数の上限の目安であるため、

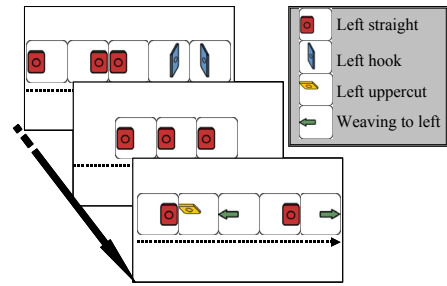


図4. 運動パターン表示画面

Figure 4. Game screen.

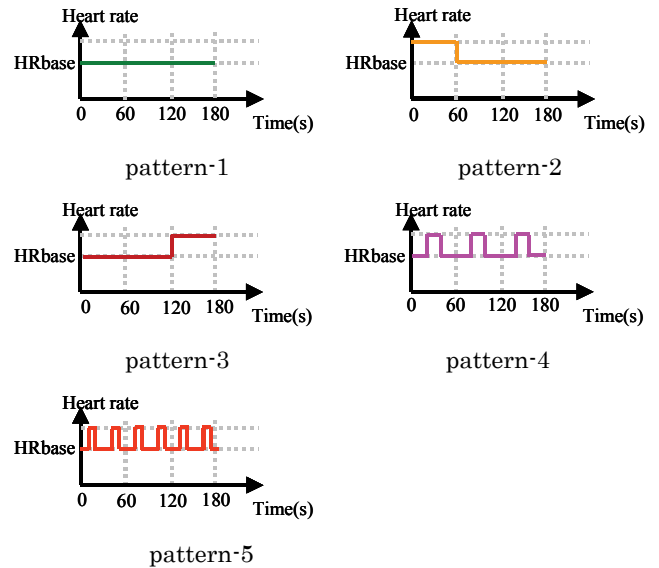


図5. 運動パターン

Figure 5. Movement patterns.

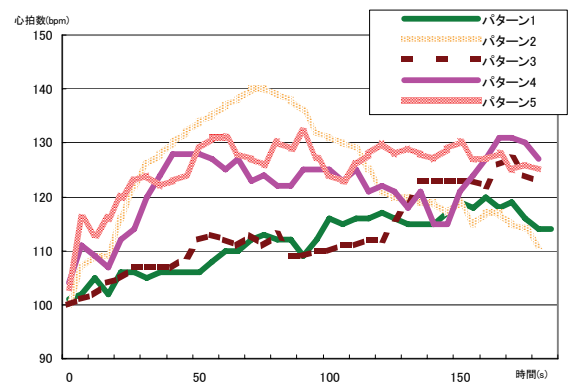


図6. 被験者①の運動パターンによる心拍変化

Figure 6. Heart rate change for patterns(student-1).

HR_{max} を超える場合でも有効な運動であり危険性はない。パターン3はパターン1同様120(s)付近まで HR_{base} に近づくように心拍数が変化しており、120(s)以後高負荷の運動頻度が増え心拍数が増加している。パターン4では HR_{max} を目標心拍数としている頻度が増えているため、心拍数の上昇頻度が多く心拍数を $HR_{base} \sim HR_{max}$ の間に維持することができている。またパターン5はパターン4に比べ高負荷の

間隔が短い、パターン 4 よりも平均的に高い心拍数を維持している。これは心拍数の増加に比べ減少はゆるやかであるからだと考えられる。これらの結果からいずれのパターンも運動中盤から後半にかけて HRmin~HRmax を維持することができ、本稿で定義している有効な運動となっていることがわかる。

4.2. 運動パターンによる運動達成感

運動直後の達成感を調べるために、POMS による気分変化とアンケートを実施した。POMS は、「緊張・不安 (Tension-Anxiety ,T-A)」、「抑うつ・落ち込み (Depression-Dejection ,D)」、「怒り・敵意 (Anger-Hostility ,A-H)」、「活気 (Vigor ,V)」、「疲労 (Fatigue ,F)」、「混乱 (Confusion ,C)」の 6 つの尺度から、その時点での感情・気分の状態を測定する手法で、医療分野や運動心理学分野で盛んに用いられている[13-15]。5つの運動パターンを体験した直後に POMS を行なった被験者①と②の結果を図 7 に示す。また、運動パターンによる達成感の違いを検討するために、図 8 に示すアンケートを行い、「非常にそう思う：2 点」「どちらかというと思う：1 点」「なんともいえない：0 点」「どちらかというと思わない：-1 点」「全く思わない：-2 点」の 5 段階の評価をし、被験者 4 人の合計点数を計算した。

図 7 の結果より、運動前と運動直後には「活気」以外の項目が低下し、活気が増すという傾向が得られた。この結果は従来研究と類似するもので、運動をすることで健康的な心理状態に近づいていることを示している。最大有効運動の時刻に関してパターン 2 とパターン 3 を比較すると、被験者①②ともに、パターン 3 の結果では「疲労度」が増しているが、アンケートによると達成感が最も得られるという結果になった(図 9)。これは運動後半の最大有効運動を行った印象が強く、運動前半に最大有効運動があるパターン 2 と比較すると運動の達成感を増しているものと考えられる。

また、頻度についてパターン 4 とパターン 5 を比較すると、最大有効運動の頻度が多いパターン 5 の方が、「活気」がより高くなっており、アンケート結果では達成感が高くなっていることが分かる(図 9)。また、図 6 ではパターン 5 の方がより心拍数を一定にたもつことができていることがわかる。

これらの実験結果から、「運動後半にかけて最大有効運動の頻度を上げる」ことで、運動達成感が増加する傾向があることが分かった。

5. ボクササイズ動作の認識

ボクササイズでは複数の動作を用いることで、様々な身体部位を鍛えることができるが、全てのボクササイズ動作を認識するための画像処理は煩雑であり、応答性や正確性を欠いてしまう[16]。また、ゲーム・運動内容よりも、入力難しさによりユーザを飽きさせてしまうことが考えられる。そこ

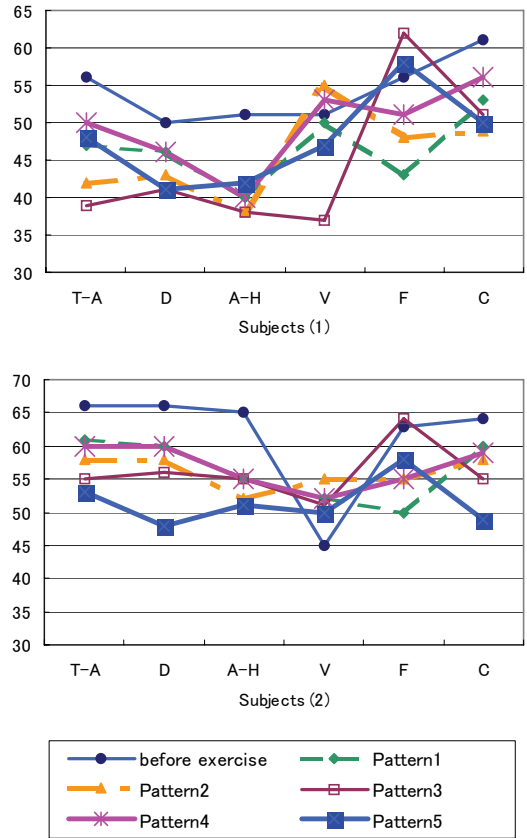


図 7. 運動パターンと POMS 結果

Figure 7. The POMS scores for Subjects (1) and (2).

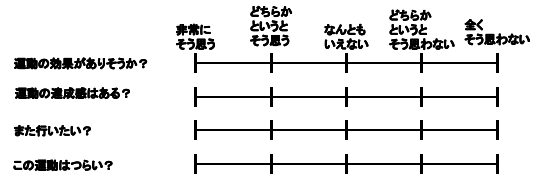


図 8. 達成感のアンケート

Figure 8. Questionnaire.

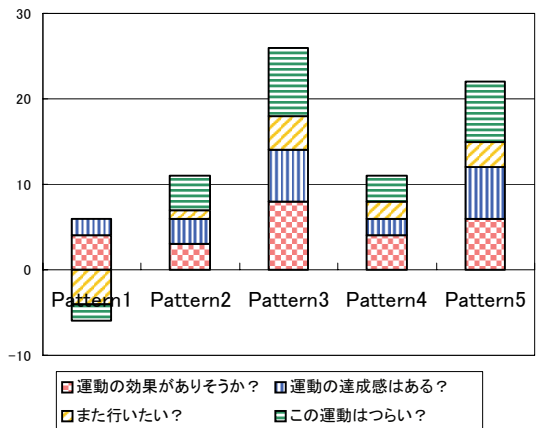


図 9. アンケート結果 (運動パターンと達成感)

Figure 9. Result of the questionnaire.

で、本研究では、基本的なボクササイズの動作からストレー

ト、フック、アッパー、ウェービングの4つの動作を選択し、認識する。

5.1. グローブ位置の検出

ボクササイズ動作を認識するために、反射テープを付けたグローブに赤外線をあてグローブ位置を検出することや、加速度センサや磁気センサなど触角インタフェースを用いてモーションをキャプチャすることが行なわれているが、特別な装置が必要になり、運動を始めるための敷居が高い[17][18]. そのため本研究では両手に装着した赤いグローブの動きを、画像処理により検出する。

本手法では始めに、システム上部に付けられたカメラ (io data USB-CCD 25 万画素 30fps 320x240) により入力された画像(図 10(a))に対して、PC(Pentium4 2.8GHz)により縮小処理を行い、平滑化を行なう(図 10(b)). 次に画像中の赤色成分を検出するために、色相を用いてグローブ領域を抽出する(図 10(c)). 最後に、ラベリング処理を行い一定面積以上の 2 領域をグローブの位置とする(図 10(d)). ただし、画像左の領域を右グローブとし、グローブが重なっているなど一領域しか検出されない場合は、1(s)前のグローブ位置を参照する。

5.2. ボクササイズ動作の認識

本システムで扱うストレート、フック、アッパー、ウェービングの4動作は、それぞれ異なった特徴的な動作軌道を描くため、本手法では、5.1により得られた0.5(s)間のグローブ位置の軌道を用いて、ボクササイズ動作の認識を行う。

まず、あらかじめストレート、フック、アッパーそれぞれの0.5(s)間のグローブ位置を0.1(s)間隔でプロットし、パンチの軌道の辞書を作成する(図 11). 次に、それらの辞書軌道とリアルタイムで検出されるグローブ軌道の類似度を求め、設定した閾値以下であった場合、対応するボクササイズ動作として認識する. 辞書軌道とグローブ軌道との比較は、0.1(s)間隔ごとのグローブ位置をプロットした点と、辞書にプロットしてある点との距離を式(5)~(7)により求める。

$$d_x + d_y < threshold \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} d_x \\ d_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{n=0}^N \sqrt{\{(f_x(n) - \bar{f}_x) - (g_x(n) - \bar{g}_x)\}^2} \\ \sum_{n=0}^N \sqrt{\{(f_y(n) - \bar{f}_y) - (g_y(n) - \bar{g}_y)\}^2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{f}_x & \bar{f}_y \\ \bar{g}_x & \bar{g}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{\sum_{n=0}^N f_x(n)\} / N & \{\sum_{n=0}^N f_y(n)\} / N \\ \{\sum_{n=0}^N g_x(n)\} / N & \{\sum_{n=0}^N g_y(n)\} / N \end{bmatrix} \quad (7)$$

d_x, d_y は各点のx, y成分の合計距離を表し、 $f_x(n)$, $g_x(n)$ はそれぞれ、パンチ軌道のn番目の点、辞書のn番目の点を表す。 \bar{f}_x , \bar{f}_y , \bar{g}_x , \bar{g}_y はプロットした点のx, y成分の平均値を表し、(6)式により正規化される。Nは検出する軌道のプロットされた点の総数で、本手法では5とする。

ただし、ウェービングの検出は検出されたグローブ領域が

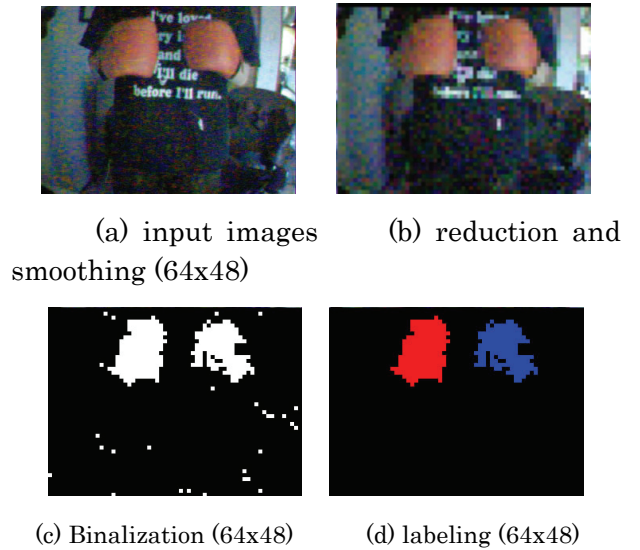


図 10. グローブの検出結果

Figure 10. Detection of gloves.



図 11. ボクササイズ動作の辞書軌道

Figure 11. Dictionary of punch trajectories.

一つの場合、グローブの重心の X 成分により左、中央、右に移動するウェービング動作とした。

6. 評価実験

6.1. フィットネス支援ゲーム

前章まで述べた手法の有効性を検証するために、提案手法を用いたフィットネス支援ゲームを構築した(図 12). ゲーム内容はユーザがドラゴンを操作し、モンスターの状態に応じたボクササイズ動作を行うことでモンスターにダメージを与え、モンスターの体力を0にするというものである。

モンスターの状態は回避・待機・攻撃(図 13)の3つに分類され、回避状態時には連打(高負荷運動)、待機状態ではコンビネーション(中負荷運動)、攻撃状態ではモンスターの吐く炎をよける単発、ウェービング(低負荷運動)が有効なボクササイズ動作とした. これらの3つのモンスターの状態を、3章で提案した心拍制御手法に対応させ、ユーザの心拍変化

によって制御する。

ゲームでは、(2)式により得られる Rh をモンスターの回避状態の表出頻度、(3)式により得られる Rm を待機状態の表出頻度、(4)式により得られる Rl をモンスターの攻撃状態の表出頻度とする。例えば、目標心拍数が 120 の場合、現在の心拍数が 100 であれば回避行動が 80%、待機状態、攻撃状態がそれぞれ 10% の確率で表出される。また、3 状態の表出確率は、モンスターが状態を変化させる一動作ごとに、同時刻のユーザの心拍数を参照し再計算される。これによりユーザの心拍数変化に応じたモンスターの状態遷移が可能となる。

6.2. 実験結果

実験では 2 種類のゲーム設定を 3 人のユーザに体験させ評価を行なった。設定①は本手法を適用したモンスターの状態遷移制御で、(1)式により $HRbase$ を求め、4 章で得られた達成感を得る運動パターンを生成するために、運動前半 (0~200(s))、運動中盤(200~400(s))の場合は $HRbase$ を目標心拍数に設定し、運動後半(400~600(s))の場合は 10(s)ごとに $HRbase$ と $HRmax$ を交互に目標心拍数とした。設定②はモンスターの状態遷移をランダムに行なったものである。また、実験では総運動時間を一定にするために、モンスターに与えるダメージの量を (8) 式により調整した。

$$AP = \frac{EHPt}{T-t} \quad (8)$$

ただし、 AP は一回の攻撃でモンスターに与えるダメージ量、 $EHPt$ はモンスターの時刻 $t(s)$ における残り体力、 t は現在の時刻、 T は設定した総運動時間を表す。ただし、実験では T は 600(s) とした。

実際にゲームを体験したユーザ A の様子を図 14、15 に示す。設定①のゲームプレイ中の心拍数変化を見ると、運動開始後から 600(s) までの間、 $HRmin \sim HRmax$ 内を維持することができており、有効な運動となっていることが分かる。また、本手法を用いることにより運動後半部で心拍数を高めるなど、心拍数の制御ができていくことがわかる。

一方設定②では、運動後半部を除いて $HRmin$ を超えることがなく、単調で運動効果が低い結果となった (図 15)。また、ゲーム体験後に 4.2 で用いたアンケート調査を行なったところ、各項目で設定②より設定①の方がより高い点数の評価になった (図 16)。

これにより、提案手法によりユーザの心拍変化によって適切な運動負荷が選択され、ユーザの心拍数を有効な範囲に保つことができていることが分かる。しかし、どのような運動を行えばいいのかわかりにくいという意見も聞かれ、ゲーム内容を見直し、運動内容の効率のよい提示方法を検討する必要がある。

7. まとめ

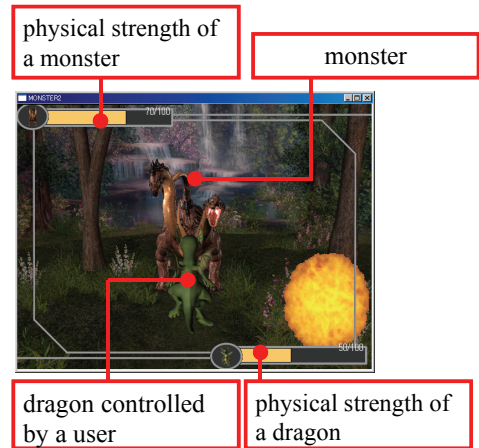


図 12. ゲーム画面

Figure12. Screen shot of the game.

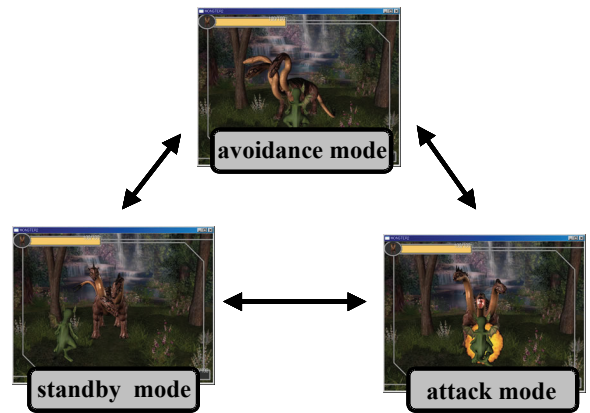


図 13. モンスターの状態遷移

Figure 13. Three monster modes in the game.

運動効果と運動達成感の提供を目的とした、フィットネス支援ゲームを構築するために、7 つのボクササイズ動作を高・中・低負荷運動に分類し、心拍数を制御する手法を提案した。また、心拍数を有効心拍数よりも高くする最大有効運動を運動後半部で行うことで、運動の達成感を高められることを示した。最後に得られた知見をもとにボクササイズを用いたフィットネス支援ゲームを構築し、提案手法の有効性を確認した。

今後の課題として、総運動時間とゲーム内容との運動方法や長期的にユーザにゲームを体験させ、実際に効果が得られるかどうかの調査を行なう必要がある。

8. 参考文献

- [1](財)健康・体力づくり事業財団, “地域における健康日本 21 実践の手引き”, 2001.
<http://www.kenkouippon21.gr.jp/kenkouippon21/jissen/index.html>
- [2] Dishman, R.K., "Exercise adherence: Its impact on public health", Human Kinetics Publishers, 1988.
- [3] 山地啓司, “体力向上のための運動プログラム実施中の途

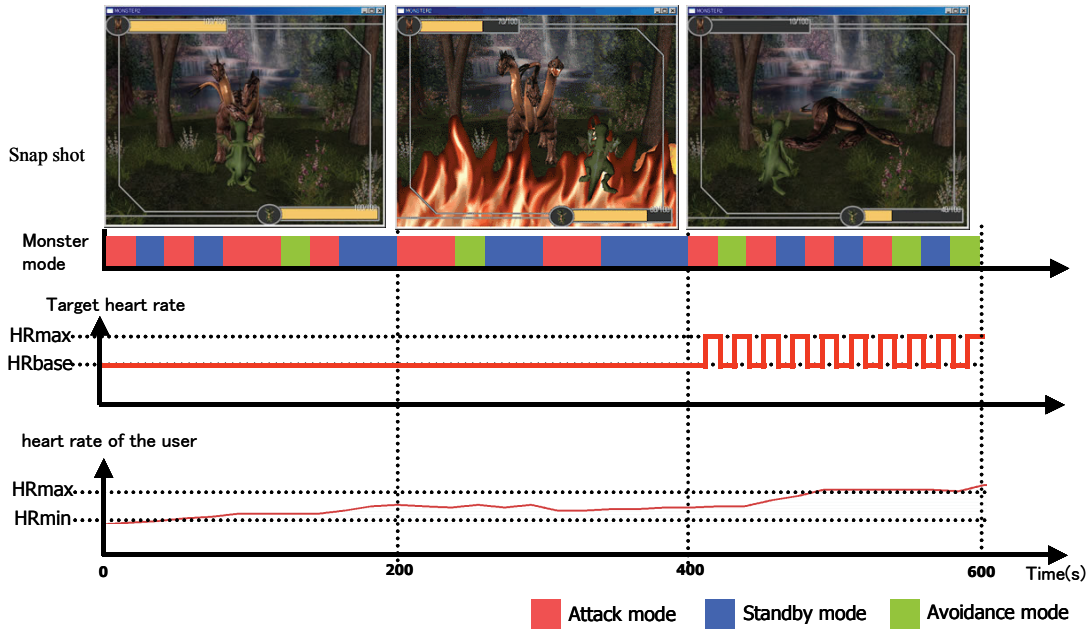


図 14. フィットネス支援ゲームの体験結果 (設定 1)

Figure 14. The screen shot of the game played by the subject-1. (setting-1)

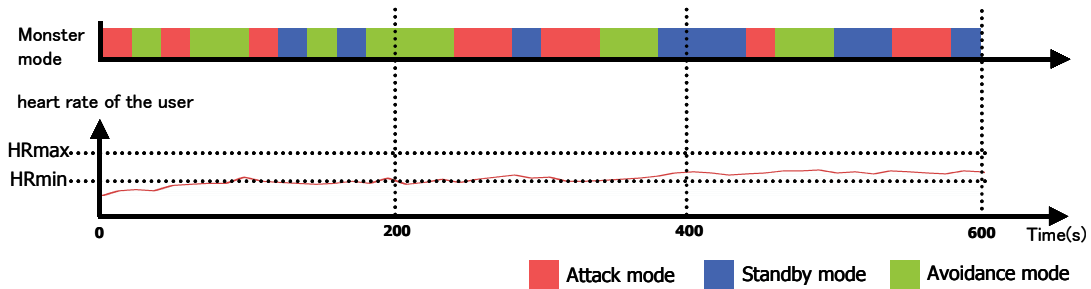


図 15. フィットネス支援ゲームの体験結果 (設定 2)

Figure 15. A flow of the monster mode and heart rate. (setting-2)

中脱落率とプログラム実施率”, 体育の科学, 38, pp.607-612, 1998.

[4] Franklin BA, Stoedefalke KG, “Games-as-aerobics: activities for adult fitness and cardiac rehabilitation programs”, Human Kinetics Publishers, pp.106-136, 1998.

[5] S. Mokka, A. Vääänen, J. Heinilä and P. Väikkynen, “Fitness Computer Games with a Bodily User Interface”, Proceeding of the Second International Conference on Entertainment Computing, pp.1-3, 2003.

[6] J. Höysniemi, A. Aula, P. Auvinen, J. Hännikäinen and P. Hämäläinen, “Shadow Boxer - A Physically Interactive Fitness Game”, Proceeding of the Third Nordic Conference on Computer-Human Interaction, pp.389-392, 2004.

[7] 佐々木績, 木竜徹, 林容市, 田中喜代次, “個人の運動体力に合わせた中高年者向け自転車エルゴメータのインテリジェント負荷制御法”, 信学論 Vol. J85-D-2, no.2, pp 329 - 336, 2002.

[8] 大野彩子, 樋口文人, 安村通晃, “電子ペットを用いた対話型

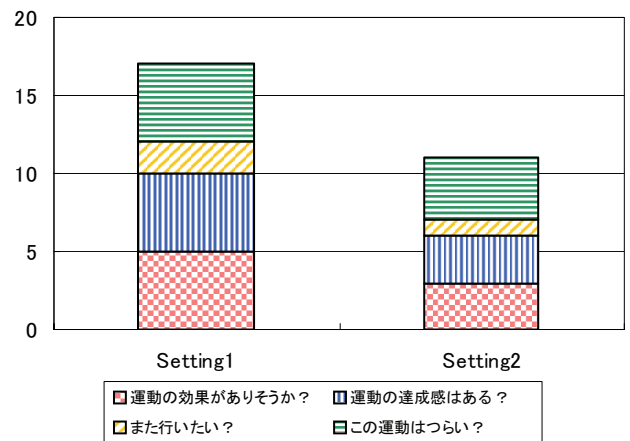


図 16. ゲーム体験後のアンケート結果

Figure 16. Result of the questionnaire after the game.

心拍トレーニング支援システムの提案”, 日本ソフトウェア科学会 WISS2000, pp.237-238, 2000.

- [9] 小川克徳, 木竜 徹, 斉藤義明, “筋活動状態を考慮した自転車エルゴメータの負荷制御”, 信学論, Vol.J81-D-II, no.2, pp.421-428, 1998.
- [10] 益子宗, 星野准一, “ユーザ心拍数を反映したフィットネス支援ゲームの実現”, NICOGRAPH 秋季大会, 2006.
- [11] American College of Sports Medicine position stand, “The recommend quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardio respiratory and muscular fitness in health adults”, Med Sci Sports Exerc, 22, pp.265-274, 1990.
- [12] Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O, ”The effects of training on heart rate; a longitudinal study”, Ann Med Exp Biol Fenn, 35(3), pp.307-315, 1957.
- [13] 中村恭子, 古川理志, “健康運動の継続意欲に及ぼす心理的要因の検討-ジョギングとエアロビックダンスの比較-”, 順天堂大学スポーツ健康科学研究, 第8号, 2004.
- [14] 金城光子, “急テンポ音楽に伴う自由躍動的舞踏の気分に及ぼす効果—琉球舞踏「カチャーシー」の効果に関する研究—”, 民族衛生, 62, pp.19-327.
- [15] 竹中晃二, 上地広昭, 荒井弘和, “一過性運動の心理学的反応に及ぼす特性不安および運動習慣形成の成果”, 体育学研究, 47, (6), 579-592, 2002.
- [16] 井岡弘樹: “ボクシエット入門”, 幻冬社,, 2005.
- [17] XaviX POWERBOXING.
<http://www.xavix.jp/index.html>
- [18] 鄭承珠, 石川俊明, 長谷川晶一, 橋本直己, 佐藤誠, “力覚を介した等身大インタラクションのためのリアクティブバーチャルヒューマンの設計”, 情処研報, vol.2005, No.59, 43-48, 2005