

高齢者の協調動作をトレーニングするためのゲームシステム

林 勇希¹ 敷根 伸光^{1,a)} 秋場 猛² 星野 准一¹

受付日 2015年4月1日, 採録日 2015年12月7日

概要: 本稿では日常生活において重要であり, 加齢とともに衰えるといわれている五指と上肢の協調的な運動を上肢把持動作と定義し, それらの動きを認識するためのコントローラとゲームコンテンツによりトレーニングの支援を行うゲームシステムを提案する. 上肢把持動作に含まれる運動要素を6つの項目に分けて検討し, それぞれの運動要素を計測するためのゲームコンテンツを作成することで, 高齢者と若年者における上肢把持動作の計測を行う. また, その結果を比較, 考察することで, トレーニングにおける支援内容やゲームコンテンツ, 視覚化の手法について検討する.

キーワード: 高齢者, 協調運動, 上肢把持動作, トレーニング, ゲームシステム

Game System of Coordination Skills Training for Elderly People

YUKI HAYASHI¹ NOBUMITSU SHIKINE^{1,a)} TAKESHI AKIBA² JUNICHI HOSHINO¹

Received: April 1, 2015, Accepted: December 7, 2015

Abstract: In this paper, we developed game systems for elderly people to analysis and visualize upper-limb-grasp motion with a new game controller. We defined upper-limb-grasp motion as coordinated movement of five fingers and upper limbs that is important in activities of daily living. The upper-limb-grasp motion is divided into 6 motion elements. In our game system, we measure each motion elements and visualize the difference of each persons. In our experiment, we compare the result of young and elderly subjects, and show that motion variation in elderly people are relatively increased.

Keywords: elderly people, coordinated movement, upper-limb-grasp motion, training, game system

1. はじめに

私たちの日常生活においては, モノを持つ, ドアを開ける, 高いところにあるモノをとる, 料理をする, 自動車の運転をするなど, 様々な活動の過程で, 視覚情報に基づき五指と上肢の協調的な運動を行っている. 協調的な運動に必要な機能は日常生活に必要不可欠な機能であり, 健全な人においては特に意識をしなくても使うことができる機能である. しかし, 協調的な運動をするための機能は加齢とともに低下することが知られており, 顔を洗う, 歯を磨く, 食事をするといった行動にも支障をきたす [1]. そのため,

高齢者において五指と上肢の協調的な運動を行うための機能をトレーニングしていく必要がある. 特に近年, 高齢化が進む日本や先進国では重要な課題となっている [2].

五指と上肢の協調的な動作に関して, 五指の力の調節に着目した計測では加齢による衰えが確認されており [3], そのトレーニングにおいては指先の器用さに着目したものが行われている [4]. 上肢のなかでも手首から上の動きに限定し, アクチュエータによる運動機能の計測やトレーニングも行われている [5]. 手と目の協調的な動作についても動作のアルゴリズムが研究されている [6]. また, 認知機能の向上を目的としたゲームによるトレーニングを行い, 高齢者でも協調的な動作に必要なマルチタスク能力が向上することが明らかにされている [7]. しかし, 日常生活における五指と上肢の協調的な運動をトレーニングするためには, 五指と上肢それぞれの運動要素を調べ, どのように協調的に運動しているか分析する必要があるが, 複雑な動作の認

¹ 筑波大学
University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

² システム・インストルメンツ株式会社
System Instruments Co., Ltd., Hachioji, Tokyo 192-0031, Japan

a) shikine-shikine@entcomp.esys.tsukuba.ac.jp

識は容易ではない。そのため、このような動作のトレーニングを行うシステムを開発することも難しい。

本稿では五指と上肢の協調的な運動を上肢把持動作と定義し、両手で掴むのに握りやすい独自形状のコントローラとゲームコンテンツによりトレーニングの支援を行うゲームシステムを提案する。五指と上肢の協調的な運動における運動要素を検討し、高齢者向けに動作の分析と視覚化を行うことで、健康運動の実施や、運動特性の自己認識を支援する。上肢把持動作の運動要素として考えられる、五指それぞれがコントローラを押さえる力とそのバランス、各指の運動能力、上肢運動の滑らかさ、肩の可動範囲、五指と上肢の協調、両手の協調の6種類の評価指標を定量化して動作の分析を行った。

有効性を検証するため、本システムを用いて高齢者群と若年者群における上肢把持動作の計測を行い、分析結果を1人1人比較し、個人間や、高齢者群と若年者群においてどのような違いが表れるのかを考察した。また、その実験結果から上肢把持動作の評価指標や、運動の視覚化が長期的なトレーニングにおけるケアプラン制作にどう役立てられるのかを検討した。

2. 従来研究

2.1 加齢による運動機能の低下

近年、日本では少子高齢化が問題とされているため、高齢者自身が加齢による運動機能の低下を予防することが重要となる。そこで、文部科学省は国民1人1人が心身の健康問題を意識し、主体的に健康の増進を図っていくことが不可欠であるとしている [2]。

五指の機能に関して、加齢によりモノを掴んだ状態で静止させることが困難になるとされている [3]。T字型の梁におもりを吊るし、梁の中心部分を握りバランスを取る能力について若年者と高齢者の比較を行っているが、トレーニングには至っていない。手指の機能と加齢の関係についてジェブセン手指機能テストを用いて調べた結果、60歳から手指機能が低下していくことが知られている [8]。指先の機能についてつまむ力と正確さについて調べた研究では加齢とともにつまむ力は衰え、指先の感覚が衰えるために、指先を静止させて維持することが難しくなるとされており [9] 正確性も減衰することが示唆されている [10], [11]。

上肢機能に関して、長期的な調査を行い加齢との相関を調べた研究では、様々な上肢機能に関する検査を行い、3年後に再検査を行った。加齢とともに点数の減少があったが、初期の点数が高い高齢者は点数が下がらないことも報告されている [12]。また、病気などにより身体機能が衰えた場合にはトレーニングが必要になるのだが、運動に対する意欲も衰えていることがあるので、信頼している医師の協力、的確な助言が必要になるといわれている [13]。

加齢による運動機能の低下は確認されているが、個人差

があり、左右差も報告されており [14] 低下の傾向にも差があるため運動機能の低下を予防することが大事である [12]。加えて、加齢とともに運動機能が低下することを示唆したうえで、改善の余地もあるといわれている [15]。

2.2 五指と上肢の協調運動に関する研究

日常生活動作を行うのに必要とされる五指と上肢の協調的な運動についても研究が行われている。

視覚情報に基づき上肢を動かす運動 (eye-hand coordination) を調べた研究では、示したポイントに対して指差しを行う際の眼球の動きと上肢の動きを解析した [6]。解析の結果、指差しを行う方法はフィードフォワード制御であることが示された。

協調運動に関係する機能は幼少期から普段の生活の中で移動やモノを取ったりすることで形成されていくとされている [16]。

脳卒中後のリハビリテーションにおいて、上肢と手のリハビリテーションが効果的であり、身体機能が回復するとされている [17]。両側、片側トレーニング、リズムトレーニングなど様々な方法が提案されており、エビデンスに基づきリハビリプログラムが示されている。

2.3 身体的・認知的機能を向上させるゲームシステム

高齢者の運動機能向上を目的としてゲームを用いた研究や、製品開発が行われている。

Neuro racer [7] では、レースゲーム中に様々なサインが表示されたタイミングに合わせてボタンを押すなどの複数の動作を同時に行うことで、認知機能が向上することが示されている。しかし、マルチタスク能力に限定して着目しているため、ユーザが利用している運動機能は限られている。

すでに製品化されている家庭用ゲーム機器を使用した運動機能の向上も検討されている。任天堂 Wii Fit を使用して運動を行った場合の身体機能と脳活動に対する影響を調べた研究では、脳活動に対して有意な影響があることが確認された [18]。また、脳性麻痺のリハビリテーションに Wii を用いたところ、リハビリに対して理解度が上がり、トレーニング時間が延び、継続することができ、脳機能の改善が見られた症例がある [19]。

身体的、認知的機能の向上を目的として専用に開発されたゲームも製品化されるようになってきている。日常生活動作の基礎とされ、脳卒中治療にも用いられる起立運動を行うゲーム、“リハビリウム起立くん”が商品化されている [20]。テレビに映る自分の姿を確認しながら、起立運動を行うゲームを進めることで、機能訓練を行うことができる。また、自分自身の身体的状態を確認しながら、運動を行うことができる機器として“デジタルミラー”がある [21]。ハーフミラーになっている画面に映される自分の

姿と地面に敷いたバランス計を確認しながらインストラクタの動きを真似することにより効果的なりハビリを行うことができる。

2.4 高齢者における動作や脳機能の解析

加齢による運動機能の衰えや脳機能の衰えを検証するために様々な方法で、上肢や指の動きに関する動作解析や認知機能、脳活動に関する脳機能の解析が行われている。

片麻痺患者のリーチ動作に関して運動解析を行った研究では、時系列データ解析を行い、線形解析ではRMSと自己相関分析、非線形解析では誤り最近傍法による構成次元の推定を用いている [22]。臨床評価尺度と有意な関連がみられ、評価尺度として有用なことが示されている。また、上肢の動作の解析として筋電位が用いられる。ロッドを掴んで90度回す単純な運動における筋電位を測定した研究では、筋電位自体にばらつきが生じるとされている [23]。

動作の滑らかさの評価指標として、躍度 (jerk) の二乗の総和を評価尺度として躍度最小モデルが提案されている [24]。このモデルを利用して高齢者歩行の安定性評価を動作の滑らかさから評価した実験では、安定性の評価として有用とされている [25]。単純な上肢の回転運動において、最大角度や速度、加速度などから詳細に分析した研究では、任意の速度でゆっくり動作する場合は若年者と差がないが、速く運動を行おうとした場合に差が大きくなると示されている [26]。

加齢による有効視野を調査した研究では、マス目状のディスプレイを設計し解析を行ったところ、加齢とともに有効視野が狭まることが明らかになっている [27]。高齢者の起立運動に限定した研究では、起立運動を4段階に分け、全体の時間とかかる時間の割合、部位ごとの距離を測ることで、運動の様子を解析している [28]。また、椅子に敷いた圧力センサやモーションセンサにより起立運動を解析した研究では、高齢者では、力のかけ方にばらつきがあり、最大の力も弱いことが分かっている [29]。姿勢と注意力のデュアルタスク能力を4種類の姿勢に分けて調べたところ、高齢であるほど複雑な姿勢を保ちながら、注意力を保持するのが難しいことが示された [30]。

脳機能に関して解析も行われており、手指の動作や運動能力と脳機能の関連についてfMRI [31], [32] や EEG [33] を用いて解析が行われている。

以上の研究では様々な観点から高齢者の身体的、認知的機能の向上を目的とした研究が行われているが、五指と上肢の協調的な運動の動作分析、視覚化は行われておらず、それによる長期的なトレーニング支援も行われていない。本稿ではそれらの機能を実装したシステムを提案する。

3. システム概要

3.1 上肢把持運動

私たちの日常生活においては、モノを持つ、ドアを開ける、高いところにあるモノをとる、料理をする、自動車の運転をするなど様々な活動の過程で、視覚で確認して手の握る動作と上肢の複合的な運動が必要となる。本稿では、視覚運動協調 (visiomotor coordination) の中でも、特に視覚と五指・上肢の協調的な運動を上肢把持動作 (upper-limb-grasp motion) と呼び、特に上肢把持動作からなる運動を指すとき、上肢把持運動と呼ぶことにする。

上肢把持動作における運動要素を6種類に分類し、詳細を説明する。

①五指の圧力バランス (balance of finger pressure)

両手の五指すべての指でモノを握った際の最大の握力における指ごとの力の偏りである。高齢者では様々な部位に同時に力を入れる際、限定した部位に力を入れるときより力が低下することが知られており、両側性機能低下 [35] が報告されている。ただし、圧力と書いたがコントローラで使用されているセンサは一定の面積を持つ感圧センサであり、計測している物理量は、厳密には指がセンサに与える力 [N] である。以後、五指の圧力と書く場合、その単位は特に断りのない限り [N] とする。

②各指の運動能力 (finger exercise capacity)

両手の五指それぞれの指を組み合わせて動かす機能に関係する。意図する指を意図したタイミングで意図するように動かすことができるかの能力である。日常生活においては掴むだけでなく、つまむ動作のように2本の指だけに力を入れることや、料理においては特定の指に力をいれなければならないこと、機械の操作なども特定の指を動かさなければならないことが多い。加齢により力や正確性が減衰することが報告されている [9], [10], [11]。

③上肢運動の滑らかさ (upper-limb exercise smoothness)

一定の速度で上肢を動かすような動作のことで、滑らかでない場合動きが断片的になる。高齢者の場合力を一定して発揮することが困難な場合、動作の滑らかさを低下させて運動することが報告されている [26]。滑らかさについては評価指標として加加速度 (jerk) [24] が用いられる。

④肩の可動範囲 (shoulder movable scope)

肩を中心に上肢を上下左右に回転させる運動において、どのような範囲で動かすことができるかという運動要素である。加齢とともに上方向に可動範囲が狭くなることはいわれている。理学療法科学では、可動域測定が実施されており、今回関係する運動方向は肩 (肩甲帯を含む) の屈曲と外旋、内旋である。

⑤上肢と五指の協調 (upper-limb-finger coordination)

上肢と五指を同時に動かす際に必要な運動要素であり、モノを握りながら動かすような運動に関連する。手を使っ

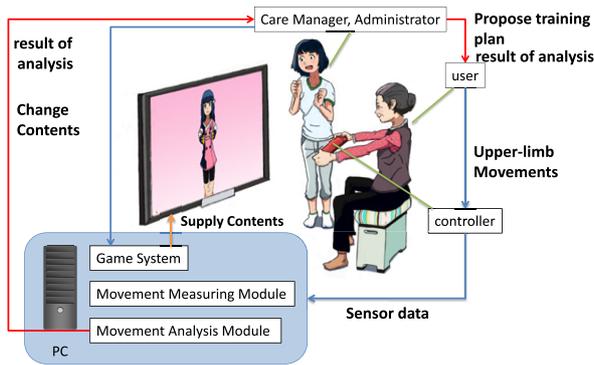


図 1 システム概要図
Fig. 1 System image.

て何かを掴む、または握った状態で肘や肩の関節を動かす際に、どれだけ正確に、速く動かすことができるかの能力である。高齢者になると動作が遅くなり、正確性も低下する。一般にペグボードテストを使って検査される運動要素である [36].

⑥目と手の協調 (eye-hand coordination)

目で位置を確認して、その場所へ正確に、意図するタイミングで手を動かす運動であり、モノを掴む場合や動くものを手でとらえる運動などに関連する。手先位置を調整する運動においてフィードフォワード制御とフィードバック制御の両方を含む。飛んでくるボールをキャッチする運動などはフィードフォワード制御が必要となり、料理や水の入ったコップなどを運ぶ際にこぼさないように手の角度を調整する場合などはフィードバック制御が必要となる。

3.2 運動支援システムの概要

高齢者の上肢把持動作を計測、分析し、視覚化を行うゲームシステムの利用イメージを図 1 に示す。ユーザは椅子に座り、上肢把持運動を計測するコントローラを握り、画面に表示されるゲームコンテンツを進める。運動の手順はインストラクタとなるゲームキャラクターが説明する。上肢把持運動における各ユーザの運動特性を分析し、ユーザと介護支援専門員にフィードバックを行う。

上肢把持動作の能力について個人間や若年者との差、あるいは過去の自分との差を分かりやすく視覚化することで、高齢者が自身の能力を認識できるようにする。若年者を含む様々なユーザの上肢把持運動における運動特性を計測して、評価指標を更新していく。

3.3 上肢把持運動を計測するコントローラ

五指の圧力と上肢運動およびその組合せによる上肢把持運動を計測するためには、五指の各指の圧力と、上肢の動きを計測することが必要となる。そのため、システム・インスツルメンツ株式会社と共同で図 2 のようなコントローラを開発した。コントローラの握る部分はゴム製のカバーがついており、五指の各指にフィットする形状になっ



図 2 上肢把持動作計測用コントローラ (システムインスツルメンツ株式会社)

Fig. 2 Upper-limb-grasp motion measurement Controller (System Instruments Co., Ltd.).

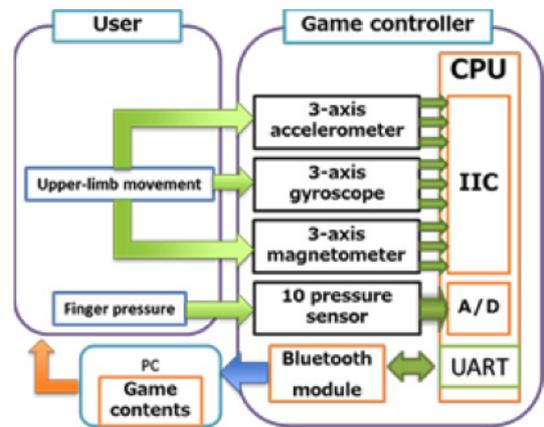


図 3 ブロック線図
Fig. 3 Block diagram.

ている。握る部分に埋め込まれた感圧センサにより五指の圧力 [N] を計測し、上肢の動きは内蔵された 3 軸の加速度 [m/s²]、角速度 [rad/s]、地磁気センサにより計測する。体を中心として上肢を上下左右に回転する動きを加速度センサと角速度センサの情報より計算して、位置を推定する。各センサのデータは Bluetooth 通信によりパソコンに送られ、データの蓄積、計算を行いゲームコンテンツに反映される (図 3)。センサ値はそれぞれの比例定数と式 (1), (2), (3), (4) により肩を中心とした上肢の回転角度 (ロール, ピッチ, ヨー) [deg] へと変換される。ロールとピッチ方向は加速度の値を使用している。ヨー方向については角速度センサの値を積分することで、現在位置を推定している。そのため、ゲームコンテンツの開始時にキャリブレーションを行う。

$$\theta_r \equiv c_r a_x \tag{1}$$

$$\theta_p \equiv c_p a_y \quad | a_z > a_y \tag{2}$$

$$\theta_p \equiv c_p a_z \quad | a_z \leq a_y \tag{3}$$

$$\theta_y = c_y \int (g_x(t) \cos \theta_r - g_y(t) \sin \theta_p \cos \theta_r - g_z(t) \cos \theta_p \cos \theta_r) dt \tag{4}$$

a_x, a_y, a_z : 3 軸加速度の値 [m/s²]

g_x, g_y, g_z : 3軸角速度の値 [rad/s]
 $\theta_r, \theta_p, \theta_y$: 姿勢 (ロール, ピッチ, ヨー)[deg]
 c_r, c_p, c_y : 比例定数

4. ゲームユニットの構成

4.1 ゲームユニットの概要

上肢把持運動を計測するためのゲームユニットを作成し、それぞれのゲームユニットにより上肢把持運動の運動要素をそれぞれ取得する。各ゲームユニットではインストラクタとなるキャラクタが実際に動きを再現して、音声により指示することにより、適切な運動を促す。また、自分の動作の様子を、ゲーム内に表示されるコントローラなどのユーザインタフェースにより確認することができる(図4)。ユーザが操作するコントローラの位置に対応して画面上にコントローラが表示される。各指の圧力はそれぞれ対応した指の名称の周辺が赤く変化して表示される。

6つの運動要素それぞれに関連、または運動要素が組み合わさったゲームユニットを6つ用意しゲームコンテンツにした。それぞれのゲームユニット内のユーザの動きを解析することにより、各運動要素におけるユーザの評価値を算出できるようにしている。

4.2 各ゲームユニットの内容と運動特性

ここでは6つのゲームユニットについてそれぞれ説明す

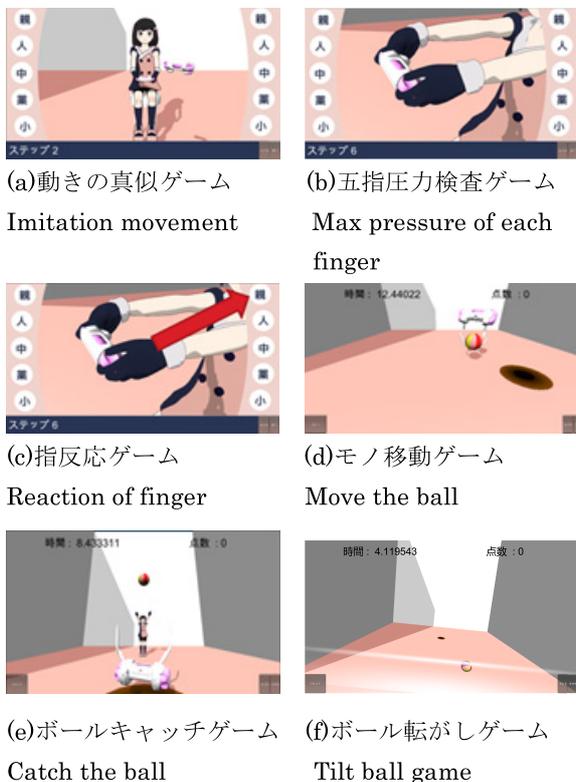


図4 ゲームコンテンツの画面

Fig. 4 Game contents base vision.

る。図4の(a), (b), (c), (d), (e), (f)を参照していただきたい。

(a) 動きの真似ゲーム

インストラクタの指示に従い、動きを真似する上肢運動を行う。運動内容は肩を中心に上肢を上下、左右、斜め方向に動かす運動になっており、5分程度の内容になっている。含まれる運動要素として上肢運動の滑らかさ、肩の可動範囲と柔軟性が考えられる。

(b) 五指圧力検査ゲーム

両手の五指すべての指に力を入れてコントローラを握り、五指の最大圧力を計測する。握力検査に似て2回計測を行う。含まれる運動要素は五指の圧力バランスである。

(c) 指反応ゲーム

ゲーム画面により両手の五指の中から1つを指示し、その指をできるだけ早く押す。指示があつてから、押すまでの時間を計測する。含まれる運動要素として各指の運動能力が考えられる。

(d) モノ移動ゲーム

ゲーム内のオブジェクトを掴みながら指定した場所へ移動させる運動を行う。含まれる主な運動要素として、上肢と五指の協調が考えられる。ゲーム内のキャッチャを上肢のピッチ、ヨー方向の回転により移動させて、オブジェクトに近付ける。キャッチャがオブジェクトに近づいた状態で、五指の圧力の合計値が一定以上に達するとオブジェクトを掴むことができる。掴んだ状態のままオブジェクトを指定の位置に移動する運動を左から右へ3回、右から左へ3回行う。運動に要した時間とオブジェクトを途中で落としてしまった回数を計測する。

(e) ボールキャッチゲーム

ゲームコンテンツ内でユーザに向かって飛んでくるボールをキャッチする運動を3回行う。この際ボールの飛んでくる位置は固定であり、ゲーム内におけるユーザの位置に向かってくる。含まれる運動要素として目と手の協調が考えられ、手を握るタイミングを合わせるフィードフォワード制御の能力が必要となる。正確にキャッチできるタイミングとの差を計測する。

(f) ボール転がしゲーム

コントローラを持ち両手を前後左右に傾けることで、ゲームコンテンツ内のボールを転がし目的の位置までボールを移動させる運動を3回行う。毎回ボールの開始位置は異なる。含まれる運動要素として、目と手の協調が含まれることが考えられ、コントローラを傾けた際のボールが移動する方向を修正するために視覚情報をもとにしてコントローラを傾けるフィードバック制御の能力が必要になる。ボールを指定する位置に移動するのに要した時間を計測する。

5. 上肢把持運動の分析と視覚化

5.1 運動分析

ゲームコンテンツごとに計測したデータより解析を行い、運動要素の評価値を算出する。各運動要素のパラメータを視覚化するため、5段階評価となるようにする。解析方法について以下に示す。

①五指の圧力バランス (balance of finger pressure)

(b) 五指圧力検査ゲームにおいてすべての指に力を入れたときの最大圧力について各指のばらつきを調べるために、すべての指にかかる圧力の平均から標準偏差を算出する (式 (5))。標準偏差の値を5段階に分割することで評価基準とする。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (F_i - \mu)^2} \quad (5)$$

σ : 標準偏差

$F_1 \sim F_{10}$: F_1 を左手親指, F_{10} を右手小指としたときの各指の圧力 [N]

μ : すべての指の最大圧力の平均 [N]

②各指の運動能力 (finger exercise capacity)

(c) 指反応ゲームにおいて各指を指示どおりに動かすことができるか調べるために、指示があつてから、対応する指を最大圧力にするのにかかった時間 [s] を評価し、5段階に分割することで評価基準とする。

③上肢運動の滑らかさ (upper-limb exercise smoothness)

(a) 動きの真似ゲームにおいて肩を中心とした上肢の動きの滑らかさを調べるために、3軸加速度センサの値から躍度最小モデルを算出する (式 (6))。評価関数値を5段階に分割することで評価値とする。

$$C = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} \left\{ (a_x(t))^2 + (a_y(t))^2 + (a_z(t))^2 \right\} dt \quad [\text{m/s}^3] \quad (6)$$

a_x, a_y, a_z : 3軸加速度の値 [m/s^2]

④肩の可動範囲 (shoulder movable scope)

(a) 動きの真似ゲームにおいて、肩を中心として上肢を回転させた際の可動範囲 [deg] と柔軟性を調べるため、コントローラを膝に置いた状態から、上下、左右、斜め上方向に動かしたときの移動量を評価する。評価基準は関節可動域測定の外旋方向の参考角度に基づき、移動量を5段階に分割して、各方向の平均を評価値とする。

⑤上肢と五指の協調 (upper-limb-finger coordination)

(d) モノ移動ゲームにおいて、上肢と五指の協調を調べるため、ボールを移動するのに要した時間 [s] とボールを途中で落とした回数を評価する。評価基準は要した時間を5段階に分割し、ボールを落とした数に応じて評価値を1

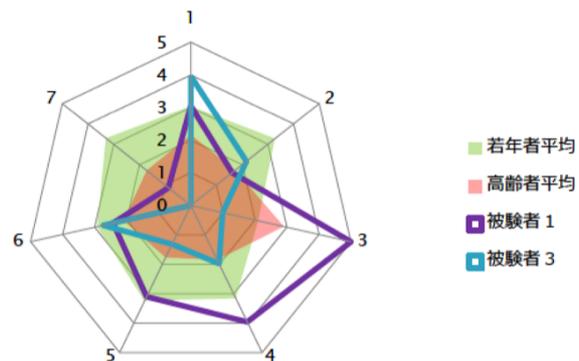


図 5 上肢把持動作の運動要素ごとのレーダチャート

Fig. 5 Upper-limb-grasp motion cobweb chart.

段階下げることにする。

⑥目と手の協調 (eye-hand coordination)

(f) ボール転がしゲームにおいて目と手の協調の中でもフィードバック制御の機能を調べるため、ボールを目標位置に動かすのに要した時間 [s] を評価し、5段階に分割することで評価基準とする。

5.2 視覚化によるトレーニング支援

ユーザごとの運動要素をユーザに分かりやすいようにレーダチャート化することで、各自の運動要素の特性について理解を促す (図 5)。年代ごとの平均値や若年者の平均などを重ねて表示することで他者との差が分かりやすいようにしこれらによって次回トレーニングへの目標設定の明確化とそれともなうモチベーション向上を図る。また、自分の過去のデータと比較することによって、運動能力が改善した項目、改善しない項目、衰えた項目が一目で確認できるため、よりのを絞った効果的なトレーニングプランを立てることも可能である。

6. 評価実験

6.1 実験

作成したシステムを用いて高齢者群と若年者群における上肢把持動作の計測を行い、1人1人分析と比較を行った。また、ゲームコンテンツにより計測と分析を行い、若年者と高齢者の運動特性の比較を行うことで、上肢把持の評価指標について検討をした。

6.2 対象者

対象者は研究内容を口頭と文書により説明し、同意した健康な高齢者と若年者 12 名とした。高齢者群は医師から運動を止められていない 6 名 (男性 3 名, 女性 3 名, 平均年齢 79.3 ± 5.7 歳), 若年者群は健康な大学生 6 名 (男性 3 名, 女性 3 名, 平均年齢 24.3 ± 2.7 歳) からなる。

6.3 方法

作成したゲームコンテンツを PC により大型ディスプレ

イに表示し、対象者はコントローラを持ちディスプレイから約2m離れて椅子に座り実験に参加した。実施の様子を図6に示す。コントローラの使い方について説明を行い、コントローラの動きと連動した練習用ゲームコンテンツに

て動かし方を十分に理解してから測定を行った。ゲームコンテンツは4章にて記述した6種類とし、すべてのゲームコンテンツを順番に実施し、コンテンツごとに実施前に説明と1回の練習を行った。計測に要した時間は20分程度であった。

本稿において定義した上肢把持動作に関する運動要素を専用のコントローラとゲームコンテンツにより高齢者と若年者を対象に計測し、6種類の運動特性それぞれに関する評価値を算出した。上肢把持動作の運動要素、6項目それぞれに対して高齢者と若年者の計測値の平均をt検定で比較した。全項目、統計的有意水準は5%未満とした。



図6 実験環境

Fig. 6 Experimental situation.

6.4 結果

6種類の運動特性それぞれに関する評価値を算出し、高齢者の男性と女性、若年者の男性と女性の平均値をまとめた結果を図7に示す。t検定による分析において有意差が認められた項目は各指の運動能力 ($p < 0.05$) のみとなった(表1)。有意差が認められた各指の運動能力に関して、指ごとの反応時間を比較したところ(図8)、すべての指に

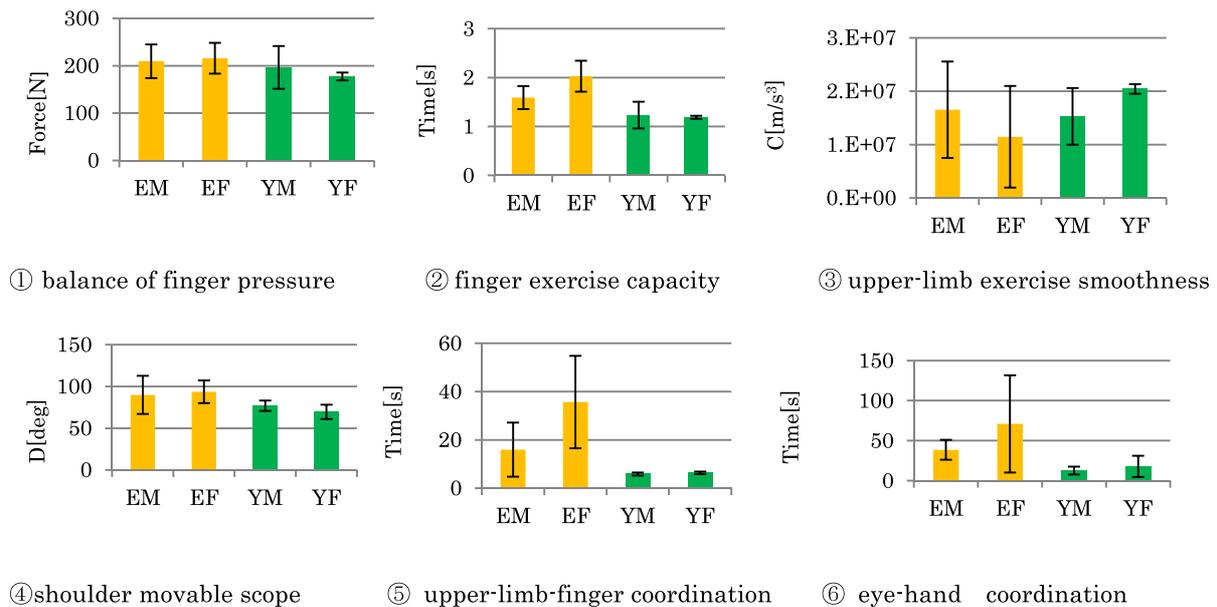


図7 実験結果

Fig. 7 The comparison of upper-limb coordination, EM (elderly male), EF (elderly female), YM (young male), YF (young female).

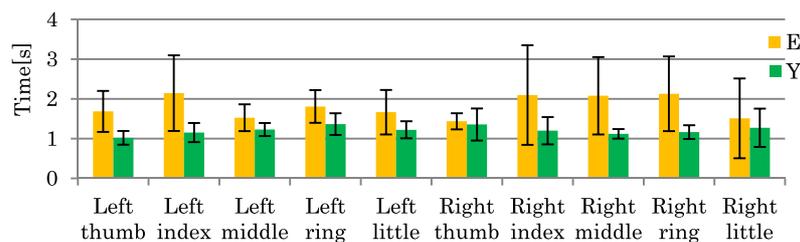


図8 各指の運動能力 E (高齢者), Y (若年者)

Fig. 8 Finger exercise capacity, E (elderly), Y (young).

表 1 上肢把持動作のそれぞれの運動指標の平均値

Table 1 The comparison of the mean value of each parameter of upper-limb coordination.

	elderly	young	P value
balance of finger pressure [N]	212.693	186.952	0.3967
finger exercise capacity [s]	1.808	1.210	0.0145
upper-limb exercise smoothness [m/s ³]	14003893	17854048	0.38517
shoulder movable scope [deg]	91.783	73.268	0.09963
upper-limb-finger coordination [s]	25.815	6.1230	0.05929
eye-hand coordination [s]	54.775	15.260	0.15183

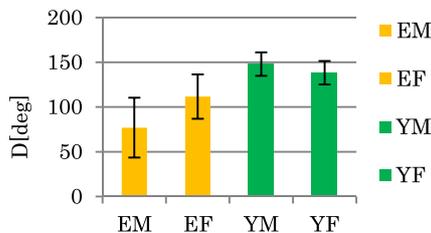


図 9 肩の可動範囲 (上下のみ)

Fig. 9 Shoulder movable scope (up-down).

において、高齢者より若年者が良い結果であった。全項目において、詳細に分析を行ったところ、肩の柔軟性において上下方向のみの可動範囲 (図 9) について高齢者と若年者の間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。

7. 考察

上肢把持運動を構成する運動要素として、6 種類の評価値を定量化することで分析を行った。全被験者それぞれ、個人間でばらつきはあったが、若年者群に比べ高齢者群で計測された値には大きなばらつきが生じていた。このことから高齢者は同じ年代でも運動能力や特性が 1 人 1 人異なることが分かった。高齢者群と若年者群の平均値を比較してみると有意差を認められた項目は各指の運動能力のみとなった。これは高齢者における運動能力の分散が大きいことが原因だと考えられる。

また、有意差が認められた各指の運動能力については、高齢者群の反応速度の遅れも要因として考えられるが、若年者群に比べ分散が大きいことから、反射的に指を動かすことが難しいのだと考えられる (図 8)。実験において、指示された指を声に出してから動かす様子や間違った指を動かす様子が確認された。高齢者は私生活におけるリモコン

操作、箸やハサミを使うなどの直感的に指を動かす動作も難しいのではないかと考えられる。

実験ではゲームシステムに対する印象評価は行っていないが、高齢層の被験者からは「おもしろい」「継続してやってみたい」「買いたい」などの意見があげられた。ゲームシステムにエンタテインメント性を付与したことで継続性のあるトレーニングを促すことができると考えられる。

8. おわりに

本稿では、日常生活において重要な上肢と五指の協調的な運動に着目し、上肢把持動作を定義した。含まれる運動要素を 6 つに分類し、各運動要素を計測することができるゲームコントローラとゲームコンテンツの作成し、動作の分析、視覚化を行うことができるゲームシステムを作成した。ゲームシステムの評価として高齢者群と若年者群を対象に上肢把持動作を計測、分析、比較を行った。結果として、上肢把持運動において高齢者は若年者に比べて 1 人 1 人の運動能力や特性の違いが顕著であることが明らかになった。若年者群と高齢者群の平均値の比較ではほとんどの項目において有意な差を認めることはできなかったが、各指の運動能力では、若年者と動きの違いが有意に確認された。このことから今回設定した上肢把持動作の評価指標の中では指の運動能力が加齢とともに衰えるということが示唆された。しかし、高齢者の個人の運動能力にばらつきが大きいことを考慮すると、まだ高齢者一般の運動特性について検証を行うことは難しい。今後は多数の被験者からデータを収集し、それによって人の加齢とともに衰える運動能力として若年者群と高齢者群を分かちような、より適した評価指標を統計的に決定することが課題となった。

それらが今後明らかにされれば、本システムの利用によって、高齢者や介護支援専門員が自身の運動特性や他ユーザとの相対位置を視覚的に確認することができ、それによって健康運動の実施が促され、生活行動に関わる注意力の向上、長期的なトレーニングにおけるケアプランの制作などに役立てられることが期待できる。

参考文献

- [1] Seidler, R.D.: Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol.34, No.5, pp.721-733 (2010).
- [2] 文部科学省：生涯にわたる心身の健康の保持増進のための今後の健康に関する教育及びスポーツの振興の在り方について (保健体育審議会 答申), 入手先 (http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/old_chukyo/old_hoken_index/toushin/1314691.htm) (参照 2015-03-31).
- [3] Shim, J.K.: Age-related changes in finger coordination in static prehension tasks, *Journal of Applied Physiology Published*, Vol.97, No.1, pp.213-224 (2004).
- [4] Ranganathan, V.K.: Skilled Finger Movement Exercise

- Improves Hand Function, *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, Vol.56A, No.8, pp.M518–M522 (2011).
- [5] Lo, A.C.: Robot-Assisted Therapy for Long-Term Upper-Limb Impairment after Stroke, *The New England Journal of Medicine*, Vol.362, pp.1772–1783 (2010).
- [6] Crawford, J.D.: Spatial Transformations for Eye-Hand Coordination, *Journal of Neurophysiology*, Vol.92, No.1, pp.10–19 (2004).
- [7] Anguera, J.A.: Video game training enhances cognitive control in older adults (NeuroRacer), *Nature*, Vol.501, pp.97–103 (2013).
- [8] Hackel, M.E.: Changes in hand function in the aging adult as determined by the Jebsen Test of Hand Function, *Physical Therapy*, Vol.72, pp.373–377 (1992).
- [9] Ranganathan, V.K., Siemionow, V., Sahgal, V. and Yue, G.H.: Effects of Aging on Hand Function, *Journal of the American Geriatrics Society*, Vol.49, No.11, pp.1478–1484 (2001).
- [10] Ketcham, C.J.: Age-Related Kinematic Differences as Influenced by Task Difficulty, Target Size, and Movement Amplitude, *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, Vol.57B, No.1, pp.54–64 (2002).
- [11] Bernhardt, J.: Accuracy of Observational Kinematic Assessment of Upper-Limb Movements, *Physical Therapy*, Vol.78, pp.259–270 (1998).
- [12] Desrosiers, J.: Age-related changes in upper extremity performance of elderly people: A longitudinal study, *Experimental Gerontology*, Vol.34, No.3, pp.393–405 (1999).
- [13] Schutzer, K.A.: Barriers and motivations to exercise in older adults, *Preventive Medicine*, Vol.39, pp.1056–1061 (2004).
- [14] Poston, B.: Movement structure in young and elderly adults during goal-directed movements of the left and right arm, *Brain and Cognition*, Vol.69, pp.30–38 (2009).
- [15] Voelcker-Rehage, C.: Motor-skill learning in older adults—A review of studies on age-related differences, *Human Neuroscience*, Vol.5, Article 26 (2011).
- [16] Rainforth, B.: Chapter 12: Motor skills, *The Syracuse Community-Referenced Curriculum Guide for Students with Moderate and Severe Disabilities*, pp.211–230 (1989).
- [17] Levine, P.G.: *Stronger After Stroke*, Demos Medical Pub (2008).
- [18] 松尾 篤: 家庭用ゲーム機器を使用した運動介入が身体機能・脳活動に及ぼす影響, 第25回健康医科学研究助成論文集, pp.82–90 (2010).
- [19] Deutsch, J.E.: Use of a Low-Cost, Commercially Available Gaming Console (Wii) for Rehabilitation of an Adolescent With Cerebral Palsy, *Physical Therapy*, Vol.88, No.10, pp.1196–1207 (2008).
- [20] メディカ出版: リハビリウム起立くん, 入手先 (<http://www2.medica.co.jp/topcontents/kirithu/>) (参照 2015-03-31).
- [21] パナソニック: デジタルミラー, 入手先 (<http://panasonic.biz/healthcare/>) (参照 2015-03-31).
- [22] 矢島大輔: 時系列データ解析による脳血管障害患者のリーチ動作の運動解析, 理学療法科学, Vol.23, No.6, pp.765–772 (2008).
- [23] Darling, W.G.: Control of Simple Arm Movements in Elderly Humans, *Neurobiology of Aging*, Vol.10, pp.149–157 (1989).
- [24] Cooke, J.D.: Kinematics of Arm Movements in Elderly Humans, *Neurobiology of Aging*, Vol.10, pp.159–165 (1989).
- [25] Flash, T. and Hogan, N.: The Coordination of Arm Movements: An Experimentally Confirmed Mathematical Model, *The Journal of Neuroscience*, Vol.5, No.7, pp.1688–1703 (1985).
- [26] 小島基永: 加速度計を用いた高齢者歩行の安定性評価 (動作の円滑さという視点から), バイオメカニズム学会誌, Vol.30, No.3 (2006).
- [27] Scialfa, C.T.: Age Differences in the Useful Field of View: An Eye Movement Analysis, *American Academy of Optometry*, Vol.71, No.12, pp.736–742 (1994).
- [28] Baer, G.D.: Trunk Movements in Older Subjects During Sit-to-Stand, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol.76 (1995).
- [29] Zijlstra, W.: A body-fixed-sensor-based analysis of power during sit-to-stand movements, *Gait & Posture*, Vol.31, pp.272–278 (2010).
- [30] Redfern, M.S.: Attention influences sensory integration for postural control in older adults, *Gait & Posture*, Vol.14, pp.211–216 (2001).
- [31] Carey, J.R.: Analysis of fMRI and finger tracking training in subjects with chronic stroke, *Brain and Cognition*, Vol.69, pp.30–38 (2009).
- [32] Hutchinson, S.: Age-Related Differences in Movement Representation, *Neuro Image*, Vol.17, pp.1720–1728 (2002).
- [33] Houdayer, E.: Relationship between event-related beta synchronization and afferent inputs: Analysis of finger movement and peripheral nerve stimulations, *Clinical Neurophysiology*, Vol.117, pp.628–636 (2006).
- [34] 今田 拓: 関節可動域表示ならびに測定法, リハビリテーション医学, Vol.11, No.2 (1974).
- [35] 竹林秀晃: 一側・両側静的最大握力の若年者と高齢者との比較—両側性機能低下に着目して, 土佐リハビリテーションジャーナル, No.3, pp.1–6 (2004).
- [36] Joseph, T.: The Purdue Pegboard: Norms and studies of reliability and validity, *Journal of Applied Psychology*, Vol.32, No.3, pp.234–247 (1948).



林 勇希

2015年筑波大学大学院システム情報工学研究科知能機能システム専攻修了。



敷根 伸光

2015年筑波大学工学システム学類卒業。現在、筑波大学グローバル教育院エンパワーメント情報学プログラムに所属。



秋場 猛

システム・インストルメンツ（株）プロダクト部所属マネージャーとして業務に従事。



星野 准一

筑波大学システム情報系准教授。エンタテインメント，VRの研究に従事。博士（情報科学），博士（デザイン学）。