

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350702

研究課題名(和文) 3次元動的プラットフォームを用いた新たな平衡機能トレーニング法の確立

研究課題名(英文) A new approach to train equilibrium function with 3-dimensional dynamic movements

研究代表者

久代 恵介 (Kushiro, Keisuke)

京都大学・人間・環境学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60361599

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究プロジェクトの目的は、平衡器を中心とした感覚器から得られた重力空間の情報が、身体運動のパフォーマンスに影響を及ぼす様子を明らかにすることであった。さらに、得られた知識を運動パフォーマンス向上につなげる可能性を模索した。上肢を用いた到達運動、投運動、到達把握運動の課題を行わせたところ、重力と運動方向との相対的關係や周辺環境に依存して運動パフォーマンスが変化すること、そしてその変化は無意識的に生じることが分かった。この結果から、3次元空間内での運動パフォーマンスは、重力空間の知覚によって生じる認知的な側面が無視できない効果をもたらす、トレーニング効果を促進させ得る要素であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research project was to elucidate how information on the gravitational space obtained from a sensory system, with a central focus on equilibrium sensors, affects motor performances. In addition, we explored the possibility of enhancing motor performances through obtained knowledge. We performed motor tasks of reaching, prehension, and throwing. We found that the motor performances were modified, regardless of whether special attention was paid to those tasks, by depending on the relative direction of the gravity and movements, or by the condition of the surrounding environment. This result leads us to believe that the cognitive process arising due to the perception of the gravitational space does not produce negligible effects, and this was suggested to be a factor in enhancing the training efficiency.

研究分野：行動制御学

キーワード：重力 空間 運動 パフォーマンス 感覚

1. 研究開始当初の背景

ヒトは3次元の重力空間において目的とする行為を難なく行うことができる。このことから、ヒトは重力空間を正確に知覚し、それに基づいて運動を生成・出力していることがうかがえる。知覚と運動との関わりについて、これまで、平衡機能、空間知覚の基礎研究や、臨床における実践研究から、この分野にさまざまな知識が蓄積されてきた。しかしながら、現在行われている平衡機能、空間知覚に関する実験や、臨床上用いられる検査手法には必ずしも現実世界が十分に反映されている訳ではないことを我々は問題意識として抱いていた。本研究プロジェクトではその問題意識の検証を実験室内での行動実験として具現化させた。我々が焦点を当てたのは、知覚と運動における「認知機能」の役割である。ヒトが空間を知覚し、運動を生成する過程には、「注意」や「予測」、あるいはそれらを繰り返すことによる「学習」といった側面が、知覚と運動に影響を及ぼすであろうという点である。さらに、ヒトは重力空間内(環境)に対して運動を働きかけることにより目的を達成させると考えるこれまでの概念を一歩進め、無意識的に入力される環境の手がかりがヒトの認知的側面に働きかけ、結果として運動パフォーマンスに影響を及ぼす可能性を探った。

2. 研究の目的

(1)我々は上肢を巧みに操作して目的の動作を行っている。上肢を伸ばし物体を把持する到達把握運動はその典型である。重力による鉛直下向きの作用が常に存在し続けているにも関わらず、寸分の狂い無く目的の物体を素速く正確に把持できるのは、前庭器を中心とした感覚器からの入力をもとに、3次元空間を精度良く知覚している所以である。本研究は、重力空間内での上肢運動をモーションキャプチャシステムによって精細に観察することにより、重力と運動パフォーマンスとの関係性を調査した。

(2)3次元空間内での感覚と運動との関係性を明らかにするもう一つの取り組みとして、上肢運動の準備動作に着目した。上肢を用いて投動作を精度良く行おうとする際、直前に上肢を前後方向に意識的あるいは無意識的に反復運動させることがある。これは上肢から動的な感覚情

報を取得して重力空間の理解を促進させる目的、あるいは、投動作によって得られるであろう感覚情報をリハーサルする認知機能促進の目的とも捉えられる。本研究では、上肢の準備動作が3次元空間内でのパフォーマンスに及ぼす効果を調査することにより、感覚と運動パフォーマンス、さらにそれらに付随する認知機能の影響について調査した。

(3)前項の研究課題では、3次元重力空間に対して動的に働きかける課題を用い、感覚と運動パフォーマンスとの関係を調べる取り組みであった。我々の平衡機能と空間知覚は前庭感覚や体性感覚のほか視覚に依拠している。通常我々は、行為の対象を注視して運動を行うが、それ以外に周辺環境から得られる情報、すなわち運動遂行者が特に意識しなくても(動的に重力空間に働きかけなくても)受動する情報が、運動パフォーマンスに影響を及ぼしているのではないかと推測した。本研究ではこの点に着目し、環境が運動パフォーマンスに影響する潜在性について調査した。

3. 研究の方法

(1)健常成人 14 名に上肢到達把握課題を課した。参加者は鉛直上下方向に 520mm 離れた球体に対して、上および下方向に到達把握運動を行った。この際、運動方向に依存してキネマティクスに非対称性が生じるか否かをモーションキャプチャーシステムを用いて評価・検討した。

(2)健常成人 12 名にダーツ投動作を課した。その際、投動作直前に 2 種類の準備動作を行わせ、パフォーマンスへの影響を調べた。準備動作は、肘関節を中心に連続的もしくは離散的に反復される屈伸運動とした(図 1)。両準備動作後のパフォーマンスをダーツ標的からの誤差として計測し、準備動作の種類とパフォーマンスとの関連性を調べた。

(3)健常成人 10 名に上肢到達運動課題を行かせた。頭部前方に配置された標的の背後には、標的からの距離が異なる(12cm および 91cm)2種類の壁を設定した。2つの壁はスムーズに切り替わるよう構成されていた。参加者の視野はシリンドラーにより制限され標的と壁のみが視認でき、またシャッターゴーグルにより視覚入力の時間を

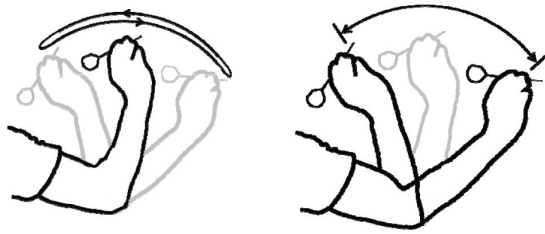


図1 連続的(左)および離散的(右)準備動作

統制した。参加者はシャッターゴーグル開放2秒後に、できるだけ速く正確に、標的への到達運動を行った。この際、背景の遠近の違いによる上肢運動のキネマティクスの違いを評価・検証し、周辺環境が運動に及ぼす影響を調べた。

4. 研究成果

(1) 上肢が運動する方向によりキネマティクスに非対称性が生じることが分かった。手首の速度プロフィール(図2)から、鉛直上向きに運動した場合、最大速度が鉛直下向きに比べ早期に出現した($p < 0.005$)。このことから、高次認知機能は、感覚器から入力する重力が、これから行う上肢運動に影響を及ぼすことを予め見積り、この情報を事前に運動プログラムに組み込んでいたと解釈された。洗練された運動を即座に出力するこの機構の存在は、普段重力に晒されることにより暗黙下にトレーニングされている所以であると考えられた。さらにこの結果は、重力と運動との関係性を十分考慮した感覚・運動プログラムの有効性と重要性を示唆するものである。

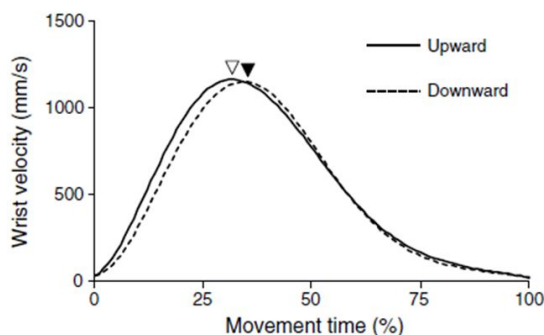


図2 鉛直上向き(実線)および下向き(破線)到達把握運動時の手首速度

(2) 投動作直前に行う準備動作は、その種類によりパフォーマンスに変化を生じさせることが分かった。連続的な準備動作を行った場合、離散的に行った場合よりも、その後の投動作のパフォーマンスにおいて良い結果を導くことが示された(図3)。このことは、3次元重力空間内で運動を行う際、準備動作の性質により、注意や予測といった認知的なリソースの配分に影響が及び、運動のパフォーマンス精度にその効果が波及したのではないかと考えられた。以上のことは、3次元空間内での運動のパフォーマンスは、単に静的に入力する感覚情報のみならず、動的に得られる感覚入力や、それに伴う認知的な側面によって影響されることが示唆された。

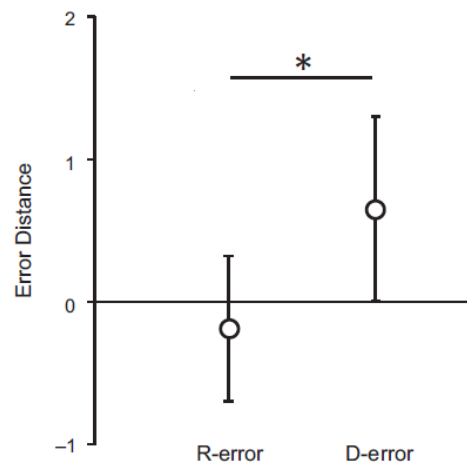


図3 連続的(左)および離散的(右)準備動作後の投動作運動パフォーマンスの誤差

(3) 視覚により誘導された到達運動課題において、標的後方の背景が遠い場合、近い場合よりも最大速度(図4上段)、および最小加速度(図4下段)の出現が有意に早く出現することが分かった(それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$)。このことは、背景が遠い場合、上肢運動の難易性が上がり、運動後半に注意深くゆっくりと標的に手を近づける制御が必要であったと示唆される。ヒトは求められる運動の正確性と迅速性を調和させ、精度良い動きを効率的に実現していると考えられた。さらに、ヒトはこの一連の制御を認識を越えた無意識のレベルで難なく行っていると考えられる。これらのことから、重力環境下で生活を営むヒトは、感覚と運動の相互関係にもとづいた洗練された運動制御機構を有すること、

そしてそれは認識のレベルを超えた無意識的な認知機能として実現されている様子がうかがえた。

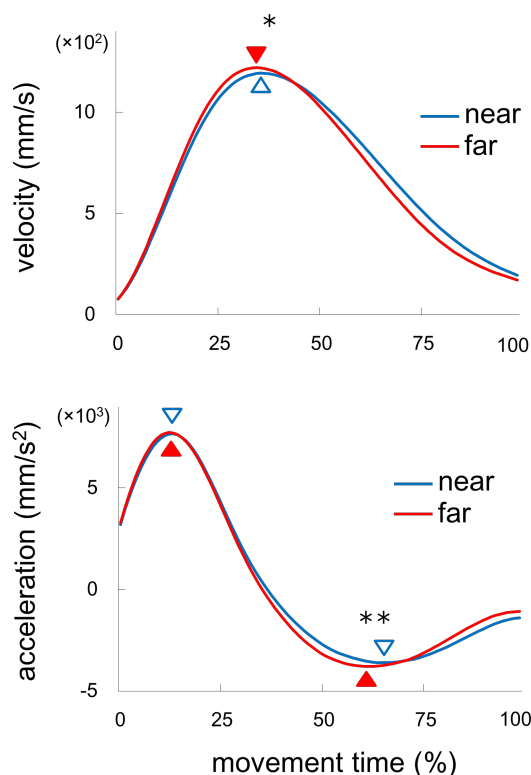


図4 背景が指標から遠い(青)および近い(赤)場合の到達運動の速度(上段)と加速度(下段)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1) Shiraki, Y., Yamamoto, S., Kushiro, K. (2015) The effects of different modes of preparatory motion on dart-throwing performance. *Compr Psychol* 4: Article 12.

2) Yamamoto, S., Kushiro, K. (2014) Direction dependent differences in temporal kinematics for vertical prehension movements. *Exp Brain Res* 232: 703-711.

[学会発表] (計 16 件)

Shiraki, Y., Yamamoto, S., Kushiro, K. Effects of rhythmic and discrete preparatory motions on dart-throwing performance. The 7th Asian-South Pacific Association of Sport Psychology (ASPASP) International Congress, Tokyo (2014)

Kushiro, K., Yamamoto, S. Perception of angular rotation with different types of rotational waveforms. The 6th Asia-Pacific Conference on Exercise and Sports Science (APCESS), Taipei (2013)

Yamamoto, S., Kushiro, K. The direction-dependent temporal kinematics of vertical prehension movements. The 6th Asia-Pacific Conference on Exercise and Sports Science (APCESS), Taipei (2013)

[図書] (計 1 件)

山本真史、久代恵介、化学同人、運動生理学第 3 版(7 章 運動と神経系)、2014、97-104 頁

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久代恵介 (Keisuke KUSHIRO) 京都大学・人間・環境学研究科・准教授
研究者番号: 60361599

(2) 研究分担者

五島史行 (Fumiyuki GOTO) 東京医療センター・医師
研究者番号: 80286567

(3) 研究分担者

山本真史 (Shinji YAMAMOTO) 大阪体育大学・体育学部・助手
研究者番号: 40736526