

自分の身体位置の再現性を高める学習が運動の修正を上達させるのか

—身体位置の認識と実際の位置とのズレをなくす学習を用いて—

曾我部立樹*

抄録

本研究の目的は、1)身体位置覚の評価に適した課題を明らかにすること、2)身体位置覚の鋭敏さが学習によって向上するのかを検討し、身体位置覚の学習に運動方向の特異性がみられるのかを明らかにすることであった。

研究1では、能動的な運動課題を用いた身体位置覚の定量化を行い、運動競技経験による比較を行うことで、評価に最適な課題を検討することを目的とした。用いた運動課題は、足の高さの違いを識別する課題、固有感覚情報を基に各肢の基準動作を再現する課題、視覚情報を基に記憶した目標位置に足を到達させる課題であった。結果として、視覚情報を基に記憶した目標位置に足を到達する課題で、遠方の距離において運動経験者が非経験者に比べて小さい誤差を示した。しかし、基準動作を用いた身体位置覚の評価では運動経験による差はみられなかった。これらの結果から、基準動作を用いない視覚目標への到達課題が身体位置覚の鋭敏さの評価に適していることが示唆された。さらに、識別閾値と再現誤差との間に相関関係は確認されなかったことから、身体位置の識別と再現は異なる能力であることが示唆された。また、再現課題を用いて評価した身体位置覚の鋭敏さは脚よりも腕のほうが優れていることが示された。

研究2では、研究1で評価に適していると判断した課題を用いて、身体位置の認識と実際の位置とのズレをなくす学習を行い、その前後でpre-testとpost-testテストを実施した。結果として、post-testではpre-testに比べて有意に小さな誤差を示し、学習を実施していない運動方向においても同様の結果を示した。これらの結果から、身体位置覚の鋭敏さは学習によって向上するとともに、学習した運動方向に特異的なものではないことが示唆された。

キーワード：身体位置覚，能動的運動課題，運動方向の特異性，運動学習

* 筑波大学大学院 人間総合科学研究科 博士前期課程 体育学専攻 〒 305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

Does learning on improving the reproducibility of body position improve exercise correction?

—Using learning to eliminate misregistration between recognition of body position and actual position—

Tatsuki Sogabe *

Abstract

This study aimed to 1) clarify tasks suitable for the assessment of body position sense, and 2) examine whether the body position sense acuity could be improved by learning and whether specificity of movement direction is evident in the learning of body position sense.

Study 1 aimed to examine the optimum task for evaluating body position sense by quantifying it using active movement tasks and comparing participants' performance on them based on athletic experience. The movement tasks included identifying differences in foot height, reproducing the reference position of each limb based on proprioceptive information, and placing a foot at the target position based on visual information. Results showed that at a far distance in the task of placing the foot at the target position memorized based on visual information, the experienced group showed smaller errors than did the non-experienced group. However, there was no such difference in the evaluation of body position sense using reference motion. These results suggest that the task of reaching a visual target without using reference motion is suitable for evaluating body position sense acuity. Furthermore, there was no correlation between discrimination threshold and reproduction error, suggesting that identification and reproduction of body position are different abilities. Additionally, it was found that body position sense acuity, as evaluated using the reproduction task, was better in the arm than in the leg.

In Study 2, using the tasks determined as suitable for evaluating body position sense acuity in study 1, learning sessions were conducted to eliminate the misregistration between the recognition of the body position and actual position. Pre- and post- tests were executed before and after the learning session. Findings revealed a significantly smaller error on the post-test as compared to the pre-test. Similar results were observed for motion direction without learning. These results suggest body position sense acuity can be improved by learning, and that body position sense is not specific to learned movement direction.

Key Words : body position sense, active movement task, direction specificity, motor learning

* Graduate School of Comprehensive Human Sciences Master's Program in Health and Sports Sciences, 1-1-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574, Japan

1. はじめに

子どもやアスリートなど、運動技能レベルに限らず、運動の学習や修正を行う際には、自身の身体がどこにあるのかという位置情報(身体位置覚)を理解し、実際に自身が思い描く位置に身体を動かしたり調整したりできるかということが重要である。身体位置覚は、アスリートが競技歴がない群に比べて鋭敏であり、競技レベルとの相関関係も明らかにされていることから³⁾、運動において身体位置覚は重要であるといえる。しかし、優れた身体位置覚がトレーニングによって向上するのか、生得的なものであるかははっきりとされていない。そのため、身体位置覚が学習によって向上するのかを検討する必要がある。

また、身体位置覚の鋭敏さには部位の特異性があるとされている⁷⁾。しかし、運動方向の特異性についての検証は不十分であるため、身体位置覚の学習に運動方向の特異性がみられるのかを検討する必要がある。

これまでの身体位置覚の評価は主に3つの課題が用いられてきたが⁴⁾(図1)、以下に挙げるいくつかの理由から、運動場面における身体位置覚の評価としては不十分であると考えられる。

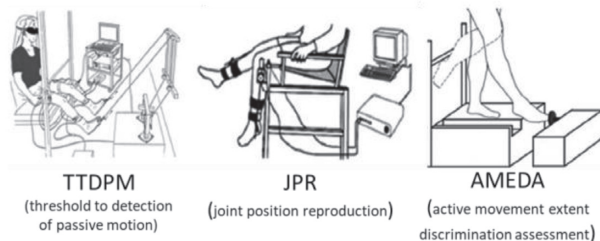


図1 身体位置覚における3つの主要な評価法

(Han et al., 2016 より引用)⁴⁾

まず、身体位置覚には、運動の結果に関するインプットの側面と、運動の実行に関するアウトプットの側面があると考えられる(図2)。インプットの側面では身体位置の識別、アウトプットの側面では、自身が思い描いた場所に身体位置を動かすことが要求されるため、インプットとアウトプットの両面を測定する必要がある。

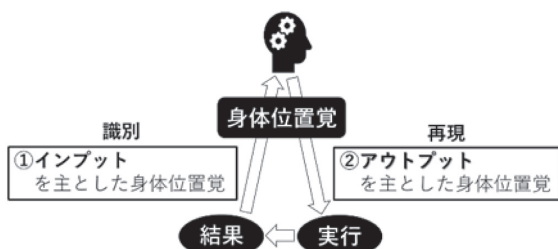


図2 身体位置覚における2つの側面

次に、これまでの身体位置覚に関する研究の多くは、機械などに身体を動かされる、受動的運動を用いた課題が用いられてきた。しかし、運動場面では自身で運動を実行するため、受動的運動によって動作が完結することはほとんどない。また、受動的運動と能動的運動では、身体位置覚に用いる受容器からの情報が異なる⁴⁾。そのため、能動的な運動課題を用いた身体位置覚の評価を行う必要がある。

さらに、先行研究は、目標となる角度や身体位置を記憶するための基準動作に対する誤差によって評価を行うものであった。しかし、運動場面での動作は、直前の基準動作を再現するものではなく、ボールや相手選手などの常に変化する対象に対して身体位置の調整が求められる。また、新たなスキルの獲得とは、視覚的運動イメージから筋感覚運動イメージへの変換であるため⁵⁾、基準動作の再現ではなく、視覚目標から生成したイメージと実際の動作を一致させることが重要である。そのため、基準動作を用いない身体位置覚の評価を行う必要がある。

2. 目的

2.1 研究1 身体位置覚の評価に最適な課題の検討

研究1では、能動的な運動課題を用いて身体位置覚の定量化を行い、運動経験による比較を行うことで、評価に最適な課題を明らかにすることを目的とした。この目的を達成するため、能動的な運動課題を用いた身体位置覚の評価と運動経験による身体位置覚の違いの検討を研究全体を通じた観点とし、3つの研究を行った。

研究1-1では、身体位置の識別と再現が異なる能力であるかを明らかにすること、足の高さの識別と再現において運動経験による違いを明らかにすることを目的とし、研究1-2では、動きの幅が大きい運動課題を用いて、身体位置の再現誤差が身体部位や運動方向によって異なるのかを明らかにすること、運動経験による再現誤差の違いを明らかにすることを目的とした。また、研究1-3では、視覚情報によって記憶した目標地点に身体を正確に到達させる課題を用いて、基準動作を用いない身体位置覚の評価を行うこと、運動経験による誤差の違いを明らかにすることを目的とした。

2.2 研究2 身体位置覚の学習および運動方向の特異性の検討

研究2では、身体位置の認識と実際の位置とのズレをなくす学習を用いて、身体位置覚の鋭敏さが向上するのかを検討し、学習において運動方向の特異性がみられるのかを明らかにすることを目的とした。

3. 方法

3.1 研究1-1 足部における身体位置覚の定量化

3.1.1 対象者

参加者は、運動経験の異なる大学生・大学院生30名であった(男性17名、女性13名、年齢 21.5 ± 1.7 歳)。なお、競技スポーツ経験がある運動群は23名(競技年数 12.4 ± 2.8 年)、競技スポーツ経験がない非運動群は7名であった。

3.1.2 課題内容

課題内容は、高さの違いをどの程度識別できるかという識別課題と、目標の高さをどの程度正確に再現できるかという再現課題の2つであった。

識別課題では、台の上に2回足を乗せ、1回目で基準の高さを記憶し、2回目に1回目と比較して「低い・同じ・高い」のいずれかで回答した(図3)。高さの変化パターンは、0、 ± 0.5 cm \sim 2 cmの9パターンであり、各パターン10回(変化なしの場合は20回)の計100回実施した。なお、実験中はアイマスクを使用し、視覚情報を遮断した。評価指標は回答の正答率とし、各変化パターンの正答率から近似式を推定し、正答率80%となる値を識別閾値として算出した。

再現課題では、5 cm、10 cm、15 cm、20 cmの4種類の基準となる高さを記憶し、その後記憶した高さを再現した(図4)。評価指標は、基準の高さと再現時の高さとの誤差とした。

再テストでは、識別課題と再現課題の両方で平均値よりも低い値(成績が良い)を示した5名(上位群)と、

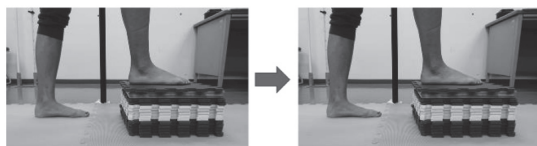


図3 識別課題の実験状況図

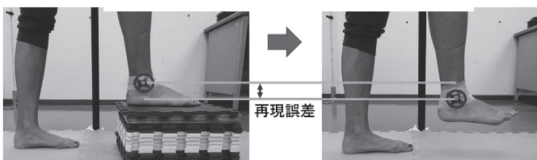


図4 再現課題の実験状況図

平均値よりも高い値(成績が悪い)を示した5名(下位群)を抽出し、同じ実験手順で再度実験を実施した。

3.2 研究1-2 身体部位および運動方向による身体位置覚の鋭敏さの違い

3.2.1 対象者

参加者は、運動経験の異なる大学生・大学院生22名であった(男性12名、女性10名、年齢 22.1 ± 2.0 歳)。なお、運動群は16名(競技年数 12.9 ± 2.7 年)、非運動群は6名であった。

3.2.2 課題内容

参加者は腕や脚を紐で提示した目標地点に触れるまで上げてその位置を記憶した後、記憶した位置を再現する課題を実施した(図5)。紐の位置は腕の前(前方40 cm、高さ110 cm)、腕の後ろ(後方50 cm、高さ90 cm)、脚の前(前方40 cm、高さ40 cm)、脚の後ろ(後方40 cm、高さ30 cm)であった。

実験は、身体部位(腕・脚)、運動方向(前・後)が異なる静的課題(目標位置で止める)を4条件実施した。また、前後の位置を記憶してもらい、その位置が動作の最高点となるように身体を連続して動かす動的課題(目標位置で静止しない)を身体部位が異なる2条件で実施した。参加者には記憶した位置を再現した時に、LEDライトを点灯してもらい、点灯時の位置を再現時の測定値とし、基準との誤差で評価を行った。試行数は6条件で各5回、計30回とした。なお、実験中はアイマスクを使用し、視覚情報を遮断した。また、実験中に結果のフィードバックは与えなかった。



図5 研究1-2の実験状況

3.3 研究1-3 視覚目標に対する到達課題を用いた身体位置覚の定量化

3.3.1 対象者

参加者は、運動経験の異なる大学生・大学院生18名であった(男性8名、女性10名、年齢 21.7 ± 2.0 歳)。なお、運動群は12名(競技年数 12.3 ± 2.6 年)、非運動群は6名であった。

3.3.2 課題内容

参加者は目標地点の場所を視認した後、閉眼状態で目標の場所に一致するように足を踏み出す課題を行った(図 6)。目標地点はスタートポジションから前方および後方の 30、40、50 cm の距離に設定した(計 6 か所)。試行数は各目標地点につき 5 回の計 30 回であり、結果のフィードバックおよび練習はなかった。測定指標は目標地点との距離の絶対誤差であった。

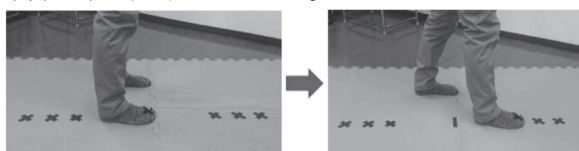


図 6 研究 1-3 の実験状況図

3.4 研究 2

3.4.1 対象者

参加者は、運動経験の異なる大学生・大学院生 10 名であった(男性 5 名、女性 5 名、年齢 22.4 ± 2.4 歳)。

3.4.2 課題内容

参加者は pre-test と post-test において、研究 1-3 と同様の課題を行った。目標地点はスタートポジションから前方および後方、横方向、前方 45° 、後方 45° の 30、40、50 cm の距離に設定した(計 15 か所)。pre-test を行った後、前方と後方の 6 か所のみにおいて、各 20 回計 120 回の学習を 2 日間行った(計 240 回)。学習では、足を踏み出した後に参加者自身がズレを確認し、修正を行った。なお、pre-test、学習、post-test はすべて別日に実施した。測定指標は目標地点との距離の絶対誤差であった。

4. 結果及び考察

4.1. 研究 1-1

4.1.1 結果

研究 I では、 1.4 ± 0.2 cm の高さの違いを識別でき、基準よりも 2.4 ± 0.9 cm 高くなる再現誤差が生じた。

識別閾値と再現誤差との関係を検討した結果、有意な相関関係はみられなかった($r = .11$, $p = .56$)。

また、運動経験による差を対応のない t 検定で検討した結果、識別閾値では運動群(1.4 ± 0.3 cm)と非運動群(1.2 ± 0.1 cm)との間に有意差はみられず($t(28) = 1.51$, $p = .14$) (図 7)、再現課題にお

いても運動群(2.4 ± 0.8 cm)と非運動群(2.4 ± 1.2 cm)との間に有意差はみられなかった($t(28) = 0.15$, $p = .88$) (図 8)。

識別課題と再現課題の再テストについて、それぞれ上位群と下位群で対応のない t 検定を行った。その結果、識別課題では上位群(1.1 ± 0.1 cm)が下位群(1.3 ± 0.2 cm)に比べて有意に低い識別閾値を示す傾向がみられた($t(8) = 2.11$, $p < .10$)。また、再現課題では上位群(2.3 ± 0.9 cm)が下位群(4.3 ± 1.3 cm)に比べて有意に小さい再現誤差を示した($t(8) = 2.81$, $p < .05$)。

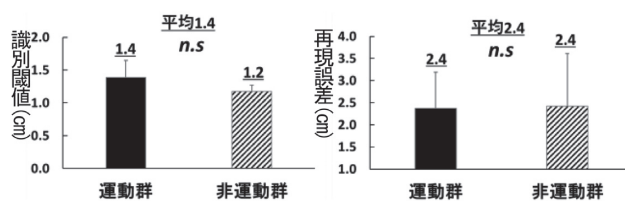


図 7 識別課題の比較

図 8 再現課題の比較

4.1.2 考察

再テストに関して、上位群は 2 回目についても同様に成績が良く、下位群は 2 回目についても同様に成績が悪かった。この結果から、本研究の識別課題と再現課題について、ある程度の信頼性はみられると考えられる。

本研究では、識別閾値と再現誤差との間に相関関係はみられなかった。受動的な運動課題での識別課題と再現課題との間の相関は乏しいという報告がみられることから²⁾、身体位置覚において、違いを識別できることと目標位置に身体を動かすこと(再現)は、異なる能力である可能性がある。また、運動経験による差がみられなかった理由として、今回の課題は動きの幅が小さく、運動場面を反映したものではなかったことが考えられる。そのため、より動きの幅が大きい課題で検討すべきである。

4.2. 研究 1-2

4.2.1 結果

$2 \times 2 \times 2$ (身体部位 \times 運動方向 \times 課題) の 3 要因分散分析を行った結果、身体部位 \times 運動方向 \times 課題の交互作用がみられた($F(1, 21) = 6.57$, $p < .05$)。課題では、静的課題(4.3 ± 0.8 cm)が動的課題(12.1 ± 3.7 cm)に比べて有意に小さな誤差を示した。しかし、動作速度と動的課題の誤差について Pearson の相関分析を行った結果、腕の再現誤差と腕の動作速度($r = .72$, $p < .001$)および脚

の再現誤差と脚の動作速度($r = .50$, $p < .05$)との間に有意な相関関係が確認され、動的課題の再現誤差は動作速度が関係していることが示されたため、静的課題のみでの検討を行った。

2×2(身体部位×運動方向)の2要因分散分析を行った結果、身体部位に有意な主効果がみられ($F(1, 21)=11.7$, $p < .01$)、腕(3.8 ± 0.8 cm)が脚(4.8 ± 1.3 cm)に比べて有意に小さな誤差を示した(図9)。運動方向の主効果($F(1, 21)=0.32$, $p = .86$)および、身体部位と運動方向の交互作用はみられなかった($F(1, 21)=0.11$, $p = .74$)。

また、静的課題において運動経験による差を対応のない t 検定で検討した結果、運動群(4.4 ± 0.9 cm)と非運動群(4.1 ± 0.4 cm)との間に有意差はみられなかった($t(20)=0.91$, $p = .38$) (図10)。

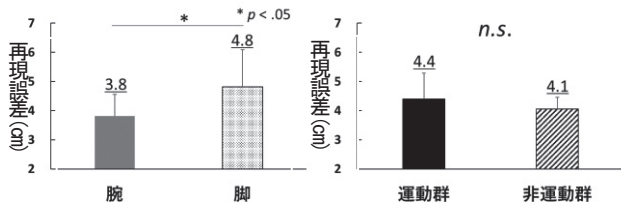


図9 身体部位による比較 図10 運動経験による比較

4.2.2 考察

腕に比べて脚のほうが誤差が大きかったという本研究の結果は、再現課題において身体部位による身体位置覚の差異を示した研究結果と類似している。また、腕のほうが優れていた理由として、日常生活において位置情報の修正を行う際に、腕のほうが脚よりも視覚情報を手がかりとして得やすく、誤差が小さくなった可能性が考えられる。

本研究では、運動方向による違いはみられなかった。仮説としては、前方のほうが後方よりも視覚情報を手がかりとして得やすいため、誤差が小さくなると考えられた。しかし、関節可動域の最大値に近づくと再現誤差は小さくなる¹⁾ことを踏まえると、本研究では前方より後方のほうが、関節可動域の最大値に近く、運動方向による違いを打ち消した可能性がある。

本研究の静的課題では、運動経験による違いはみられなかった。識別課題では運動群(バレエダンサー)が対照群よりも優れていたが、再現課題では優れていなかったことから²⁾、基準動作を再現する能力は運動経験によって向上しない可能性がある。

4.3. 研究1-3

4.3.1 結果

2×2×3(群×運動方向×距離)の3要因分散分析を行った結果、運動方向($F(1, 32)=20.4$, $p < .001$)および距離($F(2, 32)=27.5$, $p < .001$)に有意な主効果がみられた。

運動方向では、前方向(4.1 ± 1.7 cm)が後ろ方向(6.6 ± 2.0 cm)に比べて有意に小さな誤差を示し、多重比較の結果、距離では、30cm(4.3 ± 0.8 cm)が40cm(12.1 ± 3.7 cm)および50cm(12.1 ± 3.7 cm)に比べて($p < .01$)、40cmが50cmに比べて($p < .05$)有意に小さな誤差を示した。

また、群×距離の交互作用がみられたため($F(2, 32)=11.5$, $p < .01$)、単純主効果の検定として、距離ごとに対応のない t 検定を行った結果、50cmにおいて運動群(5.4 ± 1.8 cm)が非運動群(7.9 ± 2.0 cm)に比べて有意に小さな誤差を示した($t(16)=2.67$, $p < .05$) (図11)。

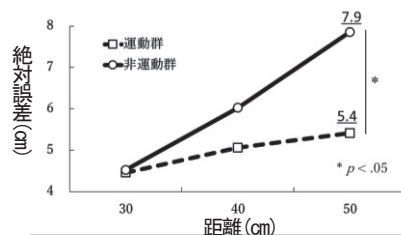


図11 各群における距離の違いによる誤差 (cm)

4.3.2 考察

本研究では、距離50cmで運動群が非運動群に比べて誤差が小さかった。静止立位から遠い姿勢で位置覚の精度が低くなることを踏まえると⁶⁾、距離が大きくなることで身体位置覚のより高い精度が求められ、50cmの距離で運動経験による差がみられたと考えられる。このことから、運動経験によって、視覚目標に対して身体を正確に到達させる能力が向上することが示唆された。

今後は、体格などの身体的特徴や関節可動域に応じた距離による検討も行う必要がある。

4.4. 研究1 総合考察

本論文において、研究1-1と研究1-2では運動経験による差はみられず、研究1-3では運動経験による差がみられた。研究1-1、1-2と研究1-3の大きな違いは基準動作の有無である。研究1-1、1-2では基準動作を用いており、身体の動きや位置を知覚し、正確に再現することが求められる。それに対して、研究1-3では基準動作を用いてお

らず、視覚目標から、身体位置を正確に到達させるための筋感覚運動イメージを生成し、動作を実行することが求められる。これらのことから、運動経験によって、視覚目標から得た運動イメージと実際の動作を一致させ、身体位置の正確な到達を行う能力が向上することが示唆された。

4.5. 研究2

4.5.1 結果

pre-test と post-test の絶対誤差において対応のある t 検定で検討した結果、post ($3.6 \pm 0.7\text{cm}$) が pre ($4.5 \pm 1.3\text{cm}$) に比べて有意に小さな誤差を示した ($t(9)=2.47$ $p < .05$) (図 12)。また、学習を実施していない方向 (横方向、前方 45° 、後方 45°) について検討した結果、post ($4.8 \pm 1.4\text{cm}$) が pre ($3.8 \pm 0.7\text{cm}$) に比べて有意に小さな誤差を示した ($t(9)=2.42$ $p < .05$) (図 13)。

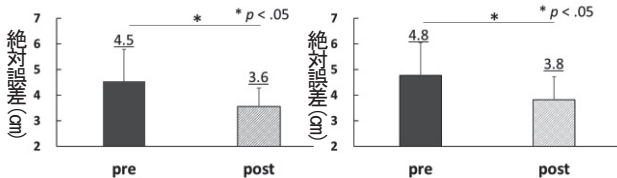


図 12 全方向での比較 図 13 非学習方向での比較

4.5.2 考察

研究2では、身体位置覚の学習効果がみられた。この結果は、身体位置覚がトレーニングによって向上するという先行研究と一致する。また、学習を行わなかった方向において学習効果がみられたことから、自身の身体位置の認識と実際の位置とのズレをなくす学習は運動方向に特異的ではなく、学習とは異なる方向の運動の修正を上達させることが示唆された。

5. まとめ

本研究で得られた結論は以下の4つである。

- (1) 身体位置覚において、違いの識別と目標位置への身体動作の実行(再現)は異なる能力である。
- (2) 基準動作を用いた課題で評価される身体位置覚の鋭敏さは、運動経験により向上せず、脚よりも腕のほうが優れている。
- (3) 基準動作を用いない課題で評価される身体位置覚の鋭敏さは、運動経験者のほうが優れている。
- (4) 基準動作を用いない視覚目標への到達課題を用いて評価される身体位置覚は、学習によって向上し、学習した運動方向に特異的なものではない。

本研究によって新たに開発された、基準動作を

使用しない身体位置覚の評価法を用いて、部位ごとの特徴によるタイプ分けや、目的とする動作に必要な肢位および方向のテスト・学習を行うことで、運動学習・修正の場面で対象に合った個別のアプローチの指標として活用することが期待される。本研究では、身体位置覚の評価に適した課題や学習効果、運動方向の特異性について明らかにしたが、今後はより運動場面を反映した課題での動作修正について検討していく必要がある。

【参考文献】

- 1) Badagliacco, J.A., and Karduna, A. (2018). College Pitchers Demonstrate Directional Differences in Shoulder Joint Position Sense Compared With Controls. *J Sport Rehabil*, 27:301-305.
- 2) Barrack, R.L., Skinner, H.B., and Cook, S.D. (1984). Proprioception of the knee joint. Paradoxical effect of training. *Am J Phys Med Rehab*, 63(4):175-81.
- 3) Han, J., Waddington, G., Anson, J., and Adams, R. (2015). Level of competitive success achieved by elite athletes and multi-joint proprioceptive ability. *J Sci Med Sport*, 18:77-81.
- 4) Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., and Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: A critical review of methods. *J Sport Health Sci*, 5:80-90.
- 5) 彼末一之, 水口暢章, 坂本将基, 中田大貴, 内田雄介 (2013). 運動イメージとスキル. *体育の科学*, 63(2):93-98.
- 6) Pickard, C.M., Sullivan, P.E., Allison, G.T., and Singer, K.P. (2003). Is there a difference in hip joint position sense between young and older groups?, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 58(7):631-635.
- 7) Wong, J.D., Wilson, E.T., and Gribble, P.L. (2011). Spatially selective enhancement of proprioceptive acuity following motor learning. *J Neurophysiol*. May; 105(5): 2512-2521.

この研究は笹川スポーツ研究助成を受けて実施したものです。