

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 10 月 23 日現在

機関番号：32616

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11472

研究課題名（和文）運動物体の捕捉に関する認知・予測特性と運動制御特性の解析

研究課題名（英文）Analysis of cognitive and anticipated properties and motor control properties for the capture of moving object

研究代表者

竹市 勝（TAKEICHI, MASARU）

国土館大学・政経学部・教授

研究者番号：30265962

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：捕捉動作における認知・予測・運動制御の一連のプロセスにおいて、本研究は、各局面の特性を解析した。被験者は、これまでの男子大学生に加え、小学6年生（男女）、肢体不自由者、女子大学生とし、それぞれの認知・予測特性について検討した。また、小学生及び大学生における認知・予測特性の男女差について明らかにした。運動物体の遮蔽後の位置予測課題における予測位置が、試行回数によって変化する可能性が認められ、その男女差を検討した。運動制御について、運動物体の到達位置と時刻に合わせて上肢を動かす課題を実施し、予測特性について明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スポーツでは動く物体（ボール）に対して、移動の様子を見る（認知）、到達位置や時刻を予測する（予測）、そして動作する（運動制御）のプロセスを経て捕球や打球（捕捉動作）する。本研究では、この各局面の特性を分離して解析し、捕捉動作のパフォーマンスへの影響について検討する。これらは新たな研究手法として今後の研究の発展に寄与すると考えられる。また、新たなトレーニング方法の開発にも応用が可能であり、それらをもとにスポーツ選手のみでなく、発育発達期の子供から高齢者に対する身体教育、機能回復訓練やリハビリテーションにも幅広い応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In the series of cognitive, anticipation, and motor control processes in the capture movement, this study analyzed the properties of each phase. In addition to male university students, the subjects were sixth-grade students (male and female), physically handicapped persons, and female university students, and their respective cognitive and anticipated properties were examined. We also clarified gender differences in cognitive and anticipated properties among elementary school students and university students. The possibility that the anticipated position in the task of anticipating the position of a moving object after occluded may change depending on the number of trials was observed, and the gender differences in this were examined. In motor control phase, we conducted a task in which participants moved their upper limbs in synchronization with the arrival position and time of a moving object, and clarified the anticipated properties of the task.

研究分野：体育学

キーワード：認知特性 予測特性 運動制御 運動物体

1. 研究開始当初の背景

運動物体に関する研究では、表象的慣性、フラッシュラグなど、位置認知エラーに関する報告がある。また可視運動物体の予測について、捕球のため運動戦略や標的速度の打撃動作への影響など、一定距離間における運動物体の通過または到達時間を予測する多くの報告がある。

これまで我々の研究は、認知・予測・運動制御の一連のプロセスにおいて運動制御を除く認知から予測までの局面に着目し、その特性を検討してきた。特に遮蔽運動物体の予測では、前述のような距離から時間を予測するタスクとは異なり、時間から位置を予測するタスクにより、被験者の脳内での運動物体のイメージを可視化して検討する独創的な方法によって実施してきた。その研究では、遮蔽された運動物体の位置予測タスクより、物体の位置を実際の位置より手前（運動方向と反対側）に予測するという現象を発見し(2004)、運動物体の位置の認知や予測においてエラーが生じることを報告した。

このように認知、予測においてエラーを生じることから、動作を失敗する要因が、認知局面や予測局面に存在する可能性が考えられる。また認知や予測エラーはトレーニングにより改善することも報告し(2008)、トレーニングへの応用の可能性を示唆した。さらに動作の最終プロセスである運動制御局面にもエラーの可能性が考えられるため、認知や予測エラーの知見を総合的に考えると、各局面の特性を分離して解析し、捕捉パフォーマンスに対するエラーの影響を検討することにより、捕捉動作を失敗する仕組みが明らかになると考え、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

捕捉動作は、スポーツにおいてパフォーマンスを大きく左右する重要な動作である。捕捉動作のプロセスは、1) 運動物体の認知、2) 運動物体の位置や時間の予測、3) 捕捉地点までの運動制御、という一連のプロセスを経て達成される。本研究では、捕捉動作の失敗に着目し、認知・予測・運動制御の3つの局面における特性について各局面のパフォーマンスを評価する。データの解析から、認知・予測・運動制御の各局面における特性がどのように捕捉パフォーマンスに関係するのか検討し、さらに各局面特性に対する部分的トレーニングが捕捉動作結果にどのように影響するのか検討することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 仮想環境における認知および予測特性の評価実験(位置認知課題、位置予測課題)

1) 仮想環境(視覚刺激の提示)は、コンピュータにより視覚刺激を生成し22インチモニター上に描画した。被験者の目とモニターまでの距離は物体の速度が10deg/sとなるように設定し、頭部の動揺防止のため固定装置に顎を接触させ課題を実施した(図1)。また、認知および予測課題をタブレット(Apple社製iPad)により提示した実験も実施した。

2) 実験画像は、図2のようにディスプレイ上に表示された

仮想環境をベースとして各種条件において課題を行った。ディスプレイに描画した実験画像では、物体が画面の左端から右方向へ水平方向等速直線運動を再現した。運動物体は黄色の球体で移動速度は10 deg/sであった。板は画面中央から右へ配置し水色とした。位置を回答する時刻の合図であるトリガー刺激は、板全体を水色から紫色へと変色させ提示した(図2)。板には位置の回答のための目盛を等間隔に16個表示した。物体の移動方向は、左から右への水平方向に加え、上から下への垂直方向および左斜め上から右斜め下への斜め方向においても実施した。

3) 仮想環境実験は、予測課題として、統制条件、フロー条件、認知課題として可視条件の3条件を設定した。実験では、物体が画面左端から移動を開始し、画面中央部から板により遮蔽された。遮蔽後、トリガー刺激を提示した時の物体の位置を板に記した目盛を使って回答させた。フロー条件では、統制条件と同様に、遮蔽後の物体位置を回答する課題を実施した。その際、物体の遮蔽と同時に板の上下に配置したストライプが、左から右に移動した(図3)。可視条件では、物体が画面左端から移動を開始し、板の前面を移動した。板前面の移動中にトリガー刺激を提示し、その時の位置を回答させた(図4)。

分析は、統制条件およびフロー条件(遮蔽)と可視条件において物体が画面中央より右側に配置した板の左端を通過した時からトリガー刺激を提示するまでの時間と被験者が回答した位置から、回帰直線を求め、その傾きを被験者が認知および予測した物体の移動速度、「認知速度、予測速度」とし実速度(10deg/s)と比較した。また、回帰直線におけるy切片を「位置錯覚量(進行方向へのズレ)」として分析した。

(2) 現実環境における運動制御実験:(位置予測課題、時間予測課題、位置・時間予測課題)

1) 実験セットアップは、仮想環境と同様に物体運動を2次元平面で観察できるように、机上を直径10mmの鉄球(ボール)が転がって移動する様子を上方から観察できるように実験装置を構築した(図5)。机上面には18本のレールを密着させ、そのレール上をボールが直線的に移動するように設定した。ボールの移動を観察する範囲は最大60cmであった(図6)。ボールが出現し

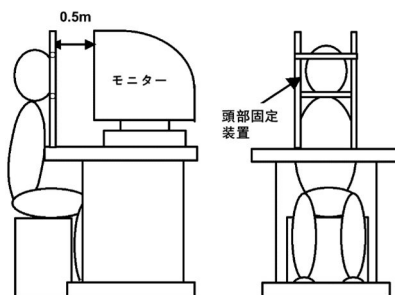


図1 実験図

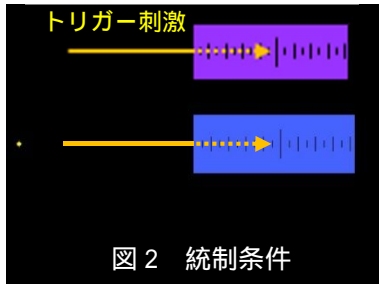


図2 統制条件

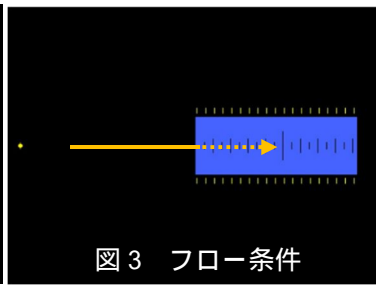


図3 フロー条件

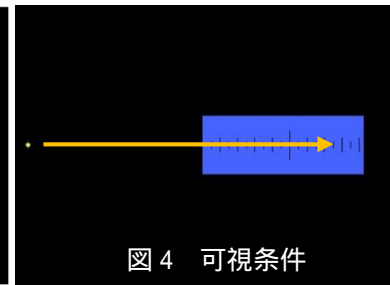


図4 可視条件

て到達位置を判断し回答する場所および到達時間を判断する場所として、鉄製の回答用プレートを設置した。被験者はマーカーを利き手で持ち、ボールがプレートの下を通過または到達したと判断した場所や時間に磁石のついたマーカーをプレート上に置くことで、運動制御による位置および時間を回答させた。時間予測課題におけるボールの到達時間はプレート下部の LED センサーで、マーカー接地時間はプレートに接地した時の音をマイクで検知し時間差を求めた。

2) 被験者は出現後のボールの動きを観察し、各課題の指示に従い、プレート上でマーカーによって位置や時間を回答した。回答したマーカーの位置は、通過したレールとの距離を計測し、そのレールよりも手前(被験者側)に回答した場合は負の値、前方に回答した場合は正の値で記録した。マーカーがプレートに接地したタイミングがボールの通過時間よりも早かった場合「-」、同時では「0」、遅かった場合「+」として記録した。

3) 現実環境における実験では、プレートの下を通過する位置を回答する位置予測課題、プレートの下に到達する時間を回答する時間予測課題、プレートの下を通過した位置と時間を同時に回答する位置・時間予測課題を設定した。各課題において、ボールの動きを観察する範囲を制限し(図7)、40cm 遮蔽、20cm 遮蔽、遮蔽なしの3つの観察条件を設定した(図8)。したがって、各条件においては、ボールの出現後、40cm 遮蔽条件では20cm、20cm 遮蔽条件では40cm、遮蔽なし条件では60cm がボールの観察が可能となる(図9)。

本実験の位置予測課題、時間予測課題、位置・時間予測課題において、3つの観察条件(40cm 遮蔽、20cm 遮蔽、遮蔽なし)で各10試行、合計90試行を実施した(図9)。運動制御特性について、競技成績の上位群と中位群に分けて比較検討した。

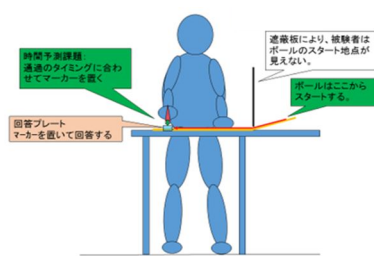


図5 実験セットアップ

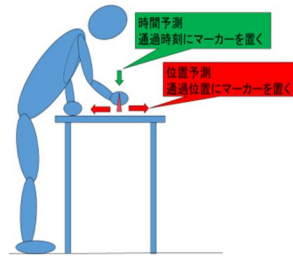


図6 観察範囲と回答プレート

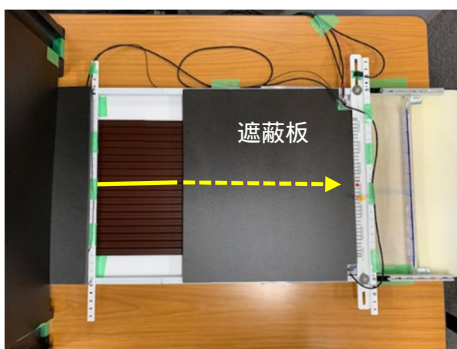
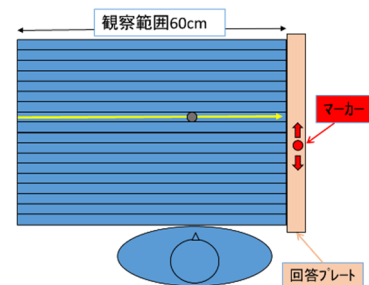


図7 実際の観察範囲 (矢印の方向にボールが移動)

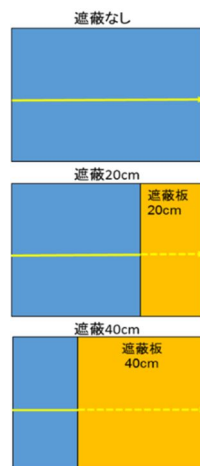


図8 遮蔽条件



図9 実験の様子

4. 研究成果

(1) 小学生、肢体不自由者における認知特性、予測特性

通常一般大学生を対象とした調査であるが、これらに加えて肢体不自由者、小学6年生を対象に認知・予測特性についても調査した。

小学6年生の認知速度と予測速度を大学生と比較した(図9)。可視条件における認知速度と遮蔽条件における予測速度は、大学生と比較して有意な差は認められなかった。しかし、認知速度予測速度のばらつきが大きい傾向がみられたことから、発育期における認知特性や予測特性が個人に異なり、まだ不安定な状況である可能性が考えられる。

肢体不自由者における認知速度は実速度とほぼ同様で、予測速度は実速度の5割以下で、一般大学生の傾向とほぼ同様であった(図10)。

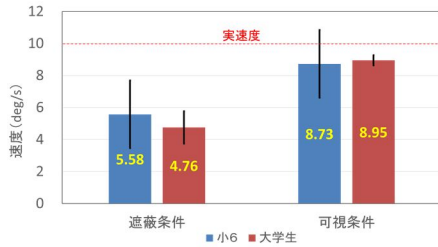


図9 予測速度と認知速度

(小学6年生と大学生)

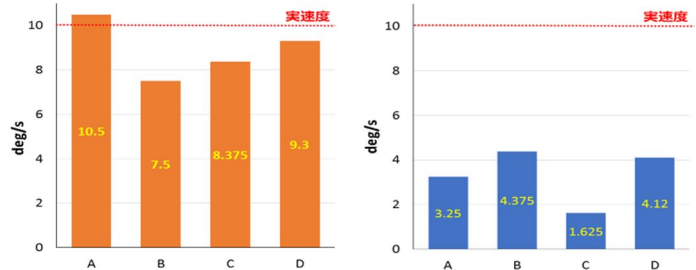


図10 認知速度(左)と予測速度(右) (肢体不自由者)

(2) 運動制御による位置・時間の認知課題と予測課題

運動制御を用いた運動物体の位置認知精度はほぼ正確であった。遮蔽物体の位置予測精度は低く、実速度の半分以下であった。位置に対する運動制御特性は、ほぼ正確であった。時間に対する運動制御の誤差は、遮蔽距離の減少に伴い小さくなり、誤差は100ms以下であったが、運動能力(上位群、中位群)により異なる傾向を示した(図11)。競技成績中位群は遮蔽時間が長くても40ms以下の精度でタイミングが合っていた。一方、上位群では、遮蔽時間に関係なく80ms程度実際の到達時間より早いタイミングでマーカーをプレートに置く運動制御を行っていた。これは、競技の技能レベルによって捕捉戦略が異なる可能性が考えられる。運動物体の捕捉プロセスでは、位置予測特性、および捕捉タイミングに関する運動制御特性においてエラーが生じる可能性が考えられ、これらのエラーが捕捉動作の失敗に関係する可能性が考えられる。

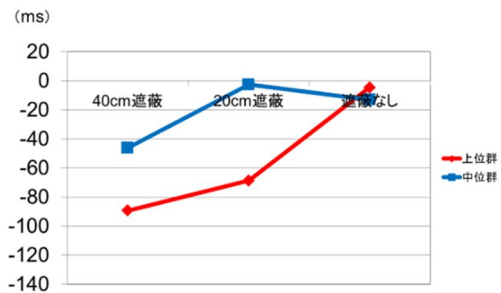


図11 位置・時間予測課題における時間予測

(3) 位置認知、位置予測課題における小学6年生と大学生における性差

小学6年生において可視物体の認知速度、遮蔽物体の予測速度、可視・遮蔽物体における位置錯覚量の性差について検討した。認知速度と予測速度では、男女とも有意差は認められなかった。位置錯覚量は、遮蔽物体の位置予測時に男子児童が女子児童より有意に大きい値を示した(図12)。このことから、小学6年生において男子児童の方が、表象的慣性(Representational Momentum)のような運動物体の消失位置が実際よりも進行方向側にずれて見える錯視現象の影響を受けやすい可能性が考えられる。

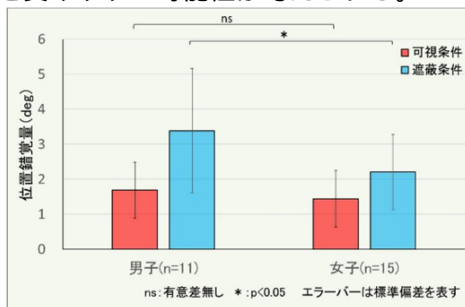


図12 遮蔽条件における位置錯覚量 (小6)

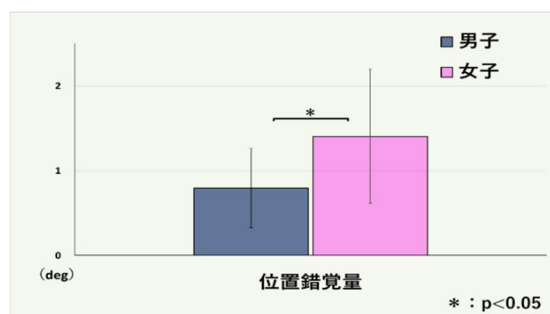


図13 遮蔽条件における位置錯覚量 (大学生)

大学生における予測速度は、小学生と同様に性差は認められなかった。しかし遮蔽物体の位置錯覚量は、小学生とは逆に女子大学生の方が男子大学生より有意に大きい値を示した(図13)。

このように、進行方向への位置錯覚量が男女において逆の傾向となることから、発育過程において位置錯覚するメカニズムに何らかの変化が生じ、位置錯覚の傾向が変化した可能性が考えられる。発育経過に伴う変化については、さらに追跡する必要がある。

(4) バドミントン経験者と非球技競技者(未経験者)における認知速度と予測速度(図14)

水平方向(右から左)と垂直方向(上から下)に移動する物体を用いて遮蔽物体の位置予測課題と可視物体の位置認知課題を行った。

遮蔽条件において、経験者は移動方向に関わりなく、未経験者よりも実速度に近い速度で予測可能であった。未経験者は、垂直方向が水平方向よりも遅くなる傾向が見られ、一般学生の実験と同様の結果であった。

可視条件において、経験者の認知速度は、未経験者よりも有意に高く、特に垂直方向では、水平方向よりも有意に高い精度で認知していた。頭上から落下するシャトルを正確に打球するためには、認知局面において高い精度を有することが必要であると考えられる。

バドミントン経験者は、見えている運動物体の水平・垂直方向での認知能力（実速度の90%以上）、1秒後までの見えない運動物体の水平・垂直方向での位置予測能力（実速度の60%）が、未経験者よりも実速度に近い結果となった。

シャトルの飛来から打球（認知・予測・運動制御）までのプロセスにおいて、認知局面（可視条件）において、実速度よりも若干認知速度が低下しており、その認知した速度で、位置や時間を予測しラケットを振った場合、シャトルを空振りすると考えられる。しかしながら、経験者は殆ど空振りすることはない。これは、その後の予測や運動制御局面において、何らかの補正が働いている可能性が考えられる。この点については、今後の課題である。

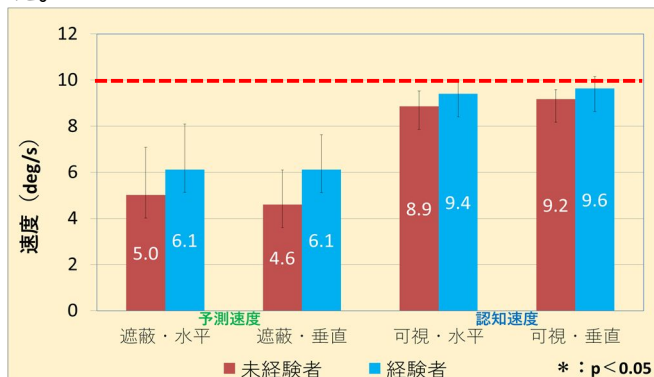


図 14 バドミントン経験者と未経験者の予測速度と認知速度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 竹市勝、松井友絵、牛山幸彦、新井健之、中島弘毅
2. 発表標題 バドミントン経験者における運動物体の認知・予測特性
3. 学会等名 第77回日本体力医学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島弘毅、新井健之、竹市勝
2. 発表標題 進行方向の違いによる遮蔽後物体の運動予測
3. 学会等名 第77回日本体力医学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島弘毅、新井健之、竹市勝
2. 発表標題 等速直線運動における遮蔽後の運動物体予測 ~ 斜め方向と水平方向の比較 ~
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第72回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡部 裕美、月橋 春美、戸枝美咲、中島 弘毅、新井 健之、竹市 勝
2. 発表標題 小学6年生における運動物体の認知・予測特性の性差
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第71回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永田直也、竹市勝、新井健之、渡部裕美、田中重陽、中島弘毅、山崎紀春
2. 発表標題 物体の運動予測課題における試行回数の錯覚量変化 - 性差に着目して -
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第71回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎紀春、竹市勝、新井健之、渡部裕美、田中重陽、永田直也、中島弘毅
2. 発表標題 物体の運動予測課題における錯覚量の性差 - 大学生を対象として -
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第71回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹市勝、新井健之、松浦孝明、浅井泰詞
2. 発表標題 運動物体の認知・予測特性の縦断的加齢変化 - 3年後の認知・予測特性 -
3. 学会等名 第76回日本体力医学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaaki Matsuura, Masaru Takeichi, Takeyuki Arai
2. 発表標題 Visual perception and prediction characteristics for moving objects in persons with cerebral palsy
3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoya Nagata, Takeyuki Arai, Masaru Takeichi
2. 発表標題 Changing errors in the ball motion anticipation task: the number of trials and the amount of illusion
3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹市勝、渡部裕美、松浦孝明、新井健之
2. 発表標題 発育期における運動物体の認知・予測特性 —小学6年生を対象として—
3. 学会等名 第75回日本体力医学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新井健之、竹市勝、地神裕史、中島弘毅、金子智昭、北徹朗、永田直也、山崎紀春
2. 発表標題 距離の違いによるゴルフパッティング距離感の変化について
3. 学会等名 日本ゴルフ学会第32回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦孝明、竹市勝
2. 発表標題 肢体不自由者の移動指標に対する位置認知・位置予測に関する研究
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎紀春、新井健之、永田直也、渡部裕美、北徹朗、中島弘毅、高橋和将、竹市勝
2. 発表標題 バスケットボールのシュートにおける外乱の影響 - 目隠し及び数字記憶による -
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田直也、新井健之、山崎紀春、渡部裕美、中島弘毅、高橋和将、北徹朗、竹市勝
2. 発表標題 バスケットボール・シュートの習熟差における注意の影響について - フリースローと任意距離シュートの比較 -
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新井健之、山崎紀春、永田直也、渡部裕美、高橋和将、北徹朗、中島弘毅、竹市勝
2. 発表標題 バスケットボールシュートとゴルフパッティングにおけるボールの運動予測と注意配分の関係
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島弘毅、新井健之、永田直也、山崎紀春、渡部裕美、竹市勝、北徹朗、高橋和将
2. 発表標題 ボールの放物軌道における認知情報量の違いとバウンド地点の位置予測精度の検討
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹市勝、新井健之、渡部裕美、田中重陽、永田直也、中島弘毅、山崎紀春、高橋和将、北徹朗
2. 発表標題 運動物体の捕捉プロセスにおける位置と時間に関する運動制御特性
3. 学会等名 第74回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	新井 健之 (Arai Takeyuki) (20397095)	高千穂大学・人間科学部・教授 (32637)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------