

令和元年6月27日現在

機関番号：32616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01670

研究課題名(和文) 運動物体の認知・予測・運動制御局面におけるエラーと捕捉パフォーマンスに関する研究

研究課題名(英文) Study of error and intercept performance during

研究代表者

竹市 勝 (Takeichi, Masaru)

国土舘大学・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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、仮想環境と現実環境において運動物体の認知、予測、運動制御の課題をいくつかの条件下において実施した。

運動制御課題結果から、位置予測の精度が高い事、時間予測は運動スキルに影響される事が明らかになった。可視運動物体に対する認知特性は50代から低下傾向を示した。バッティング課題の結果から、注意配分の減少により運動制御局面にエラーを生じること、そのエラーは経験やトレーニングにより改善されることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

認知・予測・運動制御におけるエラーと捕捉パフォーマンスの研究では、捕捉動作の失敗要因の特定が可能になると考える。その要因に対するトレーニングによりパフォーマンスを向上させる。即ち部分的トレーニングにより全体的な運動パフォーマンスを向上させるという新たなトレーニングの開発への応用が考えられる。これはトップアスリートから障害者、幼児から高齢者に至るまで、様々な人を対象に運動能力測定や評価、機能向上訓練など、スポーツに限らず教育、福祉、医療などの分野において幅広い応用が考えられる。従って、本研究は体育学における新しい研究分野および研究手法の開拓に寄与し、今後さらに応用発展する可能性が期待される。

研究成果の概要(英文)：This study was carried out by using tasks of cognitive, anticipation and motor control of moving object in virtual and real environment under several conditions. From the results of motor control tasks, it revealed that the accuracy of position anticipation is high and that the time anticipation is influenced by motor skills. Cognitive property for visible moving object tended to decline from the 50s. The result of putting task suggested that the reduction of attention distribution cause an error in motor control phase, and the errors is improved by experience and training.

研究分野：体育学

キーワード：捕捉動作 認知特性 予測特性 運動制御特性 加齢

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまでの研究では、「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。これまでの研究から、遮蔽後の運動物体の位置予測タスクにおいて、運動物体の位置を過小評価する現象を発見した（予測速度低下現象）。この研究において、運動物体の認知位置や遮蔽物体の予測位置に関して、認知エラーや予測エラーを生じる（H14-16 科研費）ことを報告した。このように、認知、予測局面においてエラーを生じることから、目的の動作を失敗する要因が、認知や予測の局面に存在する可能性が考えられる。また、予測エラーも訓練により改善する（H19-21 科研費）ことを明らかにし、トレーニングへの応用の可能性を示唆した。

動作の最終プロセスである運動制御は、これまで研究から除いていたが、ここにもエラーの可能性が存在し、認知、予測特性の知見とあわせて考えると、各局面のパフォーマンスを個々に分離して検討し、捕捉動作全体の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。

一方、実験環境構築の技術面において、仮想現実感(VR)技術を用いたシステムは、物体運動の正確な速度や軌道の再現、あらゆる実験環境を簡単に設定、変更ができ、実験者の意図する課題や環境を自由に構築することが可能である。VR システムの優れた操作特性を活用し、詳細な認知予測実験を実施することにより、個々の局面パフォーマンスと全体の動作パフォーマンスとの関連について検討することが可能になると考えた。例えば、各局面のパフォーマンスと捕捉動作の失敗要因について特定できれば、VR システムを利用し、認知・予測・運動制御の各局面に対して、現実環境では不可能なレベルの高度な課題を設定し、訓練することも可能である。このように、心理的情報処理過程の認知、予測と運動制御局面へのトレーニングにより、打球や捕球などの捕捉動作や他の動作または運動パフォーマンスを向上させることができれば、これまでになかった新たなトレーニング方法の開発も可能であると考えたことから、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

捕捉動作は、各種目におけるパフォーマンスを大きく左右する重要な動作である。動作のプロセスは3つの局面、すなわち、1) 運動物体の認知、2) 運動物体の位置や時間予測、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、総合的に物体捕捉動作が達成される。本研究では、認知・予測・運動制御の3つの局面における能力に着目し、各局面の能力を評価する。データの解析から、認知・予測・運動制御の各局面におけるエラーと捕捉パフォーマンスの関連について検討することが第1の目的である。さらに各局面に積極的に働きかけるトレーニング(訓練)が、捕捉パフォーマンスにどのように影響するのか検討することを第2の目的としている。

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・制御し、22インチCRTディスプレイ上に描画した。被験者の目とディスプレイまでの距離は0.5mとし、頭部の動揺を防止するために、固定装置に顎を接触させ課題を実施した(図1)。

2) 視覚刺激は、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視覚刺激は、画面の左端から右方向へ物体の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とした。運動物体のスタート位置は、画面左の位置とした。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基準となる目盛を等間隔に18個表示した。

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。統制条件では、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、左から右に移動することで外乱を与えた(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、球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視覚刺激(回答の合図)を提示するまでの時間と被験者が回答した位置から、被験者の認知および予測した球体の移動速度(認知速度、予測速度)を計算し、実速度(10deg/s)と比較した。

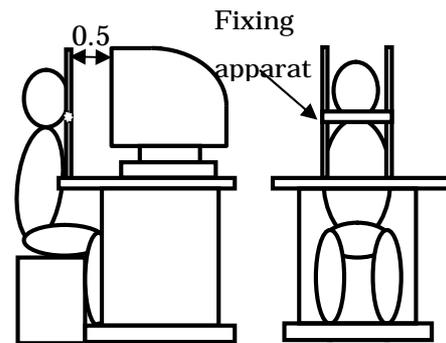
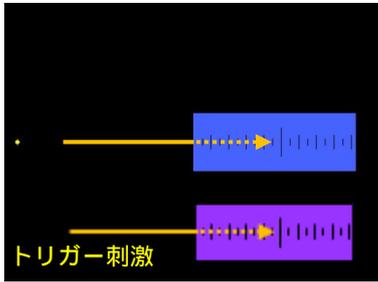


図1 実験セットアップ



トリガー刺激

図2 統制条件

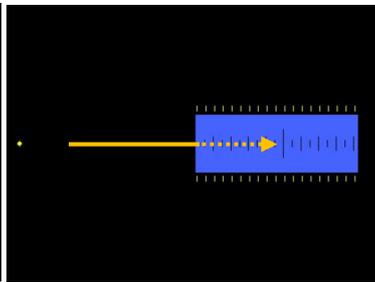


図3 フロー条件

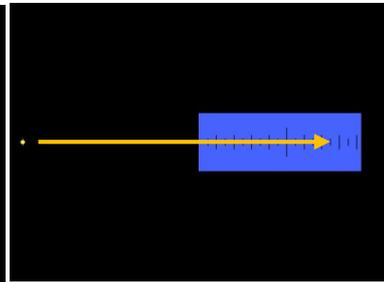


図4 可視条件

(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)。ボールが移動する机上面には、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)。ボールが出現して到達位置を判断して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(プレート)を設置した。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被験者に回答させた。被験者はマーカーを利き手で持ち、プレート上にマーカーを置いて位置および時間を回答した。ボール通過と接地のタイミングを判断するために、プレートの下に赤色レーザービームを照射し、ボールが到達したときに反射するタイミングと接地のタイミングを目視で判断した。

2) 実験に際して、ボールの出現地点の手前は、ボールを加速するため緩やかなスロープとなっており、被験者から見えないように壁によって隠されている(図7)。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、プレート上に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前であった場合「-1」、同時では「0」、後では「+1」の3段階で記録した。

3) 実験では、現実環境において、プレートの下を通過する位置を回答する課題(位置課題)、プレートの下に到達する時間を回答する課題(時間課題)、プレートの下を通過した位置と時間を同時に回答する課題(位置・時間課題)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た、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。

本実験の位置課題、時間課題、位置・時間課題において、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)。

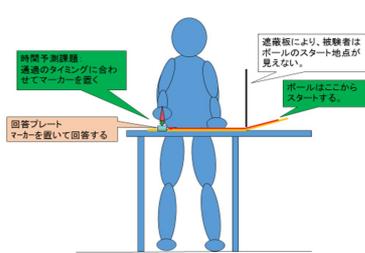


図5 実験セットアップ

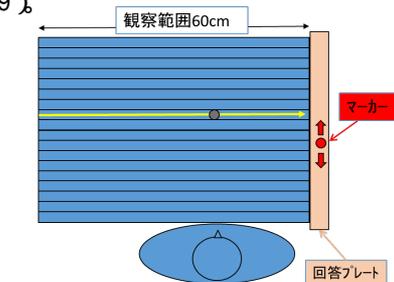
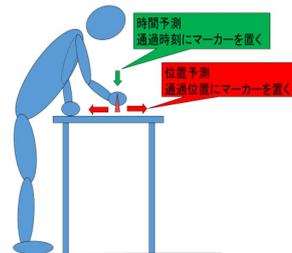


図6 観察範囲と回答プレート



図7 実際の観察範囲
(矢印の方向にボールが移動)

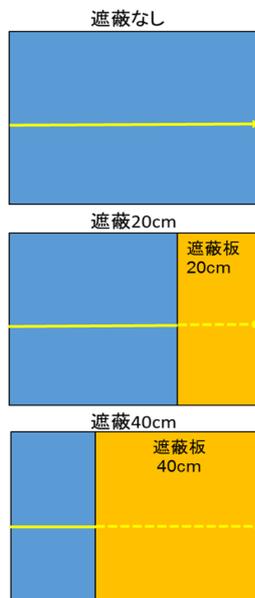


図8 遮蔽条件



図9 実験の様子

(3) ゴルフパッティングにおける注意配分現象の影響

パッティング練習用マット(SUPER-BENT パターマット 90cm×10m、パターマット工房 PRO ゴルフショップ社製)上にて、ボール(スリクソンディスタンスボールホワイト、ダンロップ社製)をパター(ミズノ社製)にてパッティングを行わせた。パッティング距離感の測定のために、被験者には目標位置でボールが停止するように打球するよう指示をした。パッティングの停止目標位置(以下目標)は、スティンブメーター(USGA 公認)で3回測定した距離の平均値とした。まず、打球した結果(ボールまでの距離)のフィードバックがある状態で、目標に停止させる距離感学習を10回実施した。その後、打球距離結果をフィードバックさせないために、被験者の位置から打球方向1m先に目隠し(垂れ幕)を配置した。次に、統制条件として先ほど学習した目標を仮想目標として5回打球させた。その直後、ボールへの注意配分を減少させるため記憶課題を追加し1回打球させた。記憶課題は、ランダムな6桁の数字を打球直前に記憶させ、打球後に6桁の数字を回答させた。

4. 研究成果

(1) 仮想環境における認知特性、予測特性における加齢の影響

仮想環境における実験では、統制条件およびフロー条件による予測課題(各20試行)と可視条件による認知課題(20試行)を統制条件、フロー条件、可視条件の順に実施した。2016年には、若年者群と高齢者群による比較を、2017年には、10-20歳代、30-40歳代、50-60歳代、70-80歳代の4グループによる比較により加齢の影響を検討した。2019年には、10歳代から80歳代までの男女合計91名に対して、10歳代、20歳代、30歳代、40歳代、50歳代、60歳代、70歳代以上の7グループに分け、各年代における統制条件とフロー条件における予測速度(被験者が考えた遮蔽物体の移動速度)と可視条件における認知速度(被験者が認知した可視物体の移動速度)の平均値からその回帰曲線を求め、加齢にともなう傾向を検討した。

統制条件における予測速度は、加齢と共に低下する傾向が見られたことから、予測機能が加齢による影響を受ける可能性が示唆された。フロー条件(心理的外乱)における予測速度は、10歳代、20歳代、40歳代では、統制条件の予測速度との間に有意差が認められたが、50歳代以降、有意差は認められなかった(図10)。心理的外乱は、50歳代以降は影響が少なくなることから、加齢に伴う注意機能の低下が影響する可能性が考えられる。可視条件における認知速度の年齢曲線は、40歳代後半から減少傾向を示した(図11)。40歳代後半から肉眼で見えている運動物体の速度を実際の速度よりも遅く認知するようになる傾向を示すもので、運動物体の認知機能が低下する時期である可能性が示唆された。

可視または遮蔽された運動物体の位置の認知や予測特性において、加齢は予測のみならず、視覚認知機能、注意機能に影響することが示唆された。認知・予測機能のエラーや複数の指標を合わせた複合指標によるパフォーマンスの評価が加齢状況の評価につながる可能性もあるため、機能低下の程度を知る事により、機能回復訓練等の運動処方提供の時期の判断が可能となるものと推察される。

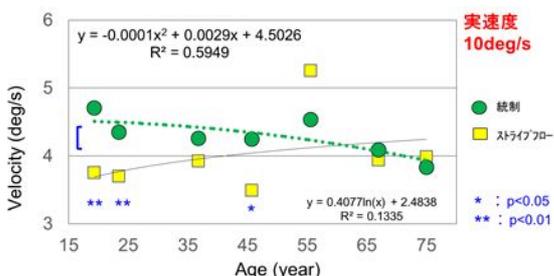


図10 予測速度(統制条件、フロー条件)

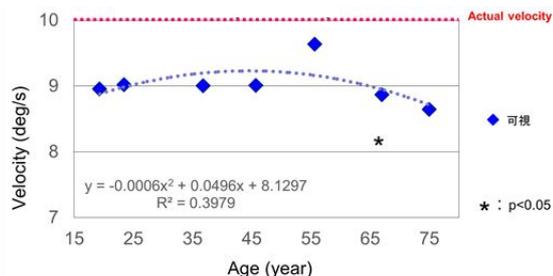


図11 認知速度(可視条件)

(2) 仮想環境における認知予測特性と現実環境における運動制御特性

被験者は、運動技能上位群6名と中位群6名の合計12名であった。上位群は県大会で上位入賞の成績を納めた者、中位群は競技成績が上位群には至らないが当該種目の経験を有する者とした。被験者には、仮想環境実験(認知課題、予測課題)と現実環境実験(位置予測課題、時間予測課題、位置・時間予測課題)を実施した。

仮想環境における被験者全体の位置予測課題(統制条件、フロー条件)、位置認知課題(可視条件)では、これまでの研究同様に、可視条件における認知速度は、実速度とほぼ同じ速度、統制条件の予測速度は実速度の半分以下、フロー条件の予測速度は統制条件の予測速度よりもさらに低下する傾向を示した(図12)。技能レベル別に検討すると、予測速度に於いては上位群が中位群よりも実速度に近くなる傾向を示した(図13)。

実験では、位置課題(位置のみを回答)、時間課題(時間のみを回答)、位置・時間課題(位置と時間を回答)の3課題において、ボールの動きが見えないように遮蔽した条件(40cm遮蔽、20cm遮蔽)とボールの動きがプレート(回答位置)まで見える条件の3条件を実施した。

位置を回答する課題では、位置のみの回答課題や位置と時間の両方を回答する課題における位置の回答精度は、遮蔽の有無にかかわらず、また運動技能レベルにかかわらず±5mm以下であり、ほぼ正確にマーカーを通過位置に置いていた(図14、図16)。

時間を回答する課題では、時間のみの回答課題や位置と時間の両方を回答する課題における時間の回答精度は、40cm 遮蔽において、上位群は通過よりも早くマーカーを接地し、中位群は遅く接地するという異なる傾向が見られた(図 15、図 17)。このことから、技能レベルにより捕捉物体の到達時刻を早めに判断し、それに合わせて運動制御を調整する可能性が示唆された。

今後は、さらに被験者を増やし、様々の条件における認知、予測、運動制御特性を検討する実験を行う事が課題である。また、実験装置も目視による時間課題ではなく、センサーを用いて正確に時間や距離を計測し分析することが今後の課題である。

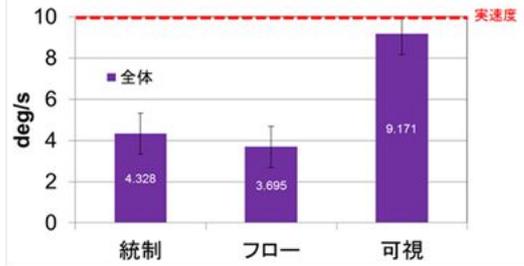


図 12 各条件における認知・予測速度

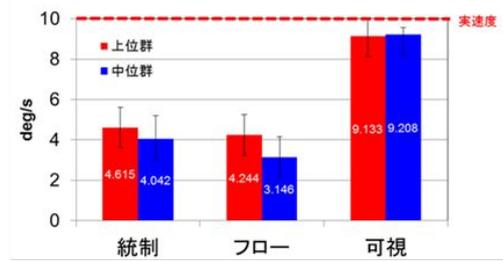


図 13 スキルレベル別の認知・予測速度

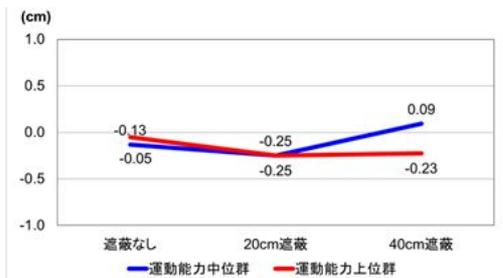


図 14 位置課題における回答位置

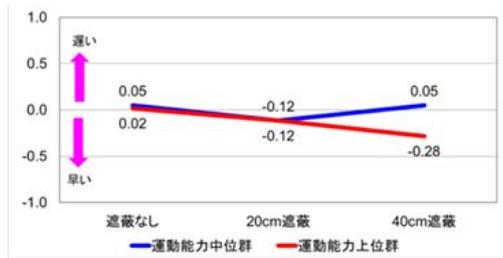


図 15 時間課題における回答時間

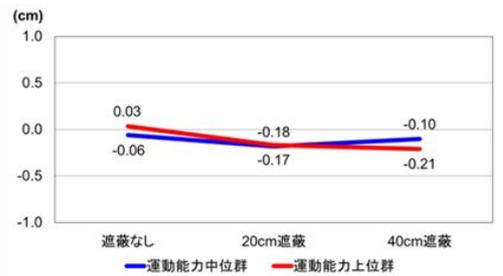


図 16 位置・時間課題における回答位置

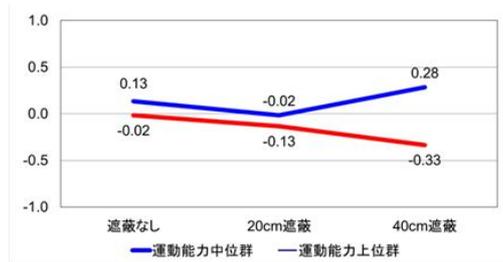


図 17 位置・時間課題における回答時間

(3) 注意配分減少による運動制御への影響について

ゴルフのパットング動作を用いて、注意配分減少による運動制御への影響について検討した。被験者は、初心者群 7 名 (19.4 ± 0.8 歳) 経験者群 9 名 (54.4 ± 6.8 歳、ゴルフ暦 23.9 ± 6.2 年、ベストスコア 76.9 ± 5.6、実験前 1 年間平均スコア 91.3 ± 9.1) であった。

初心者群、経験者群共に、統制条件での打球距離 (5 打平均値) は学習をさせた目標までの距離と有意差は無く距離感学習は十分であると考えられる。次に、両群共に、記憶課題追加条件では、統制条件に比較して有意に減少し、ボールへの注意配分減少によりパットングの距離が減少し、見越距離短縮錯覚 (実際の距離よりも短いと認識する) を支持する結果となった (図 18)。ところが、統制条件を基準とした記憶課題追加条件の距離で比較すると、経験者 (94.4 ± 5.5%) は初心者 (80.7 ± 7.6%) の低減率 19.3% と比較して 5.6% と有意に目標距離に近かった (図 19)。つまり、初心者よりも経験者の方がボールへの注意配分減少の影響を受けにくかった。したがって、ボールへの注意配分減少によって低減するゴルフパットングの距離

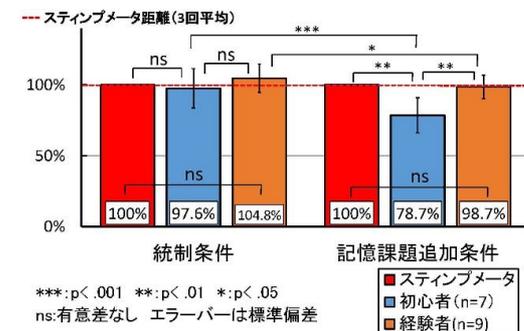


図 18 経験別ボールへの注意配分による目標への距離感

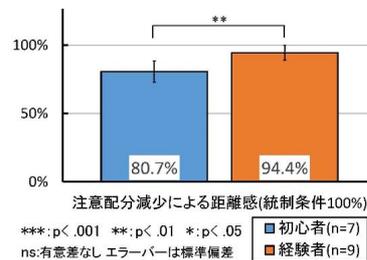


図 19 ボールへの注意配分減少による距離感低減

感が、経験によって改善される可能性が示唆された。改善メカニズムの詳細は不明だが、ゴルフパットの距離感低減錯覚が、トレーニングにより改善される可能性が考えられる。テニスのサーブにおける距離錯覚の原因とされるムーニーリレーションは、「少し早めに or 少し高い位置で打球する」との教示とトレーニングにより改善される事からも、ホールに届かないと入らない経験から改善された可能性が考えられる。

(4) ゴルフパッティング距離感低減錯覚量の技能レベル別変化

ゴルフのパッティング動作を用いて、技能レベル別が距離感低減錯覚量に及ぼす影響について検討した。被験者は、初心者群 7 名 (年齢 19.4 ± 0.8 歳)、中級者群 9 名 (年齢 54.4 ± 6.8 歳、ゴルフ暦 23.9 ± 6.2 年)、上級者群 2 名 (日本プロゴルフ協会プロおよび HC 4) であった。

統制条件を基準 (100%) とした記憶課題追加条件の距離感を技能別に比較すると、中級者 ($94.4 \pm 5.5\%$) は、初心者 ($80.7 \pm 7.6\%$) よりも有意に低い (図 20)。さらに、上級者は $101.9 \pm 1.5\%$ と、記憶課題追加による距離感低減錯覚が認められなかった。つまり、技能レベルが高くなると、記憶課題追加によるボールへの注意配分減少の影響を受けにくい結果となった。この結果は、見越距離短縮錯覚の原因仮説から導き出した、パッティングの距離感低減錯覚における仮説と矛盾しない。したがって、トレーニングによりゴルフ技能が向上したと仮定すると、ゴルフパッティングの距離感低減錯覚は、トレーニングにより改善する可能性が考えられる。

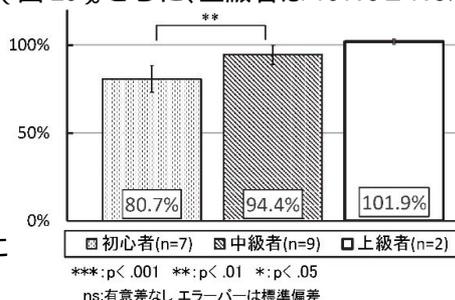


図 20 統制条件を 100% とした記憶課題追加条件の距離感

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 9 件)

Masaru Takeichi, Takeyuki Arai, Kinya Fujita, Effects of aging in cognitive and anticipated properties of the moving object, European Conference on Visual Perception 2016, Perception supplement Vol.45, 2016

新井健之、竹市勝、ボールへの注意配分減少によるゴルフパッティング - 距離感低減錯覚が経験により変化する可能性 -、第 29 回日本ゴルフ学会研究発表抄録、2016

Masaru Takeichi, Takeyuki Arai, Kinya Fujita, The Change of age in cognitive and anticipated properties of the moving object, European Conference on Visual Perception 2017, Perception supplement Vol.46, 2017

新井健之、竹市勝、金子 智昭、ゴルフパッティング距離感低減錯覚量の技能レベル別変化、第 30 回日本ゴルフ学会研究発表抄録、2017

金子 智昭、新井健之、竹市勝、ゴルフスイングにおけるダフリ改善指導法についての一考察 - ダフリと打球姿勢の関係と打球結果内省報告精度について -、第 30 回日本ゴルフ学会研究発表抄録、2017

永田直也、新井健之、渡部裕美、高橋和将、北徹朗、中島弘毅、竹市勝、ターゲット物体の運動を予測するスキルの検討、日本体育学会第 69 回大会、2018

中島弘毅、新井健之、永田直也、竹市勝、渡部裕美、高橋和将、北徹朗、ターゲット物体の運動予測と運動能力との関係についての検討、日本体育学会第 69 回大会、2018

Masaru Takeichi, Takeyuki Arai, Kinya Fujita, Cognitive and anticipated properties of the moving object with age, European Conference on Visual Perception 2018, Perception supplement Vol.47, 2018

北徹朗、新井健之、永田直也、渡部裕美、高橋和将、中島弘毅、竹市勝、運動物体の捕捉プロセスにおける認知・予測・運動制御特性、第 73 回日本体力医学会大会、2018

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：新井 健之

ローマ字氏名：(ARAI, takeyuki)

所属研究機関名：高千穂大学

部局名：人間科学部

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：20397095