

プレッシャーがボールバウンド課題に及ぼす影響*

田中美吏**, 山本剛裕***, 関矢寛史****

The objective of this study was to investigate changes in kinematics, kinetics, attention, and performance when a continuous motor skill is performed under pressure. Fifteen right-handed university students performed a ball-bouncing task with a table-tennis racket for 5 pre-test trials, 60 acquisition trials, 5 post-test trials, and 1 pressure-test trial. In the pressure-test trial, they were told that they would receive a reward or a punishment contingent on their performance. The result showed that the average increment of heart rate under pressure was about 8 bpm ($p < .001$). Although the accuracy of the ball-bounce and the gripping force did not change under pressure, three-dimensional analysis of kinematics showed that the variability of cycle ($p < .05$) and horizontal displacement ($p < .05$) of the paddle head decreased. Attention to distracters also increased ($p < .001$), while attention toward the ball-bouncing movement did not. The modest level pressure used in this study produced changes in kinematics toward a strategy with more consistent timing and less displacement of the paddle head.

プレッシャー下で連続運動スキルを遂行するときの運動学的特徴、運動力学的特徴、注意、パフォーマンスを調べることを本研究の目的とした。ボールバウンド課題を用いて、15名の実験参加者に5試行のプリテスト、60試行の習得試行、5試行のポストテストを行わせた。その後、1試行のプレッシャーテストを行わせた。プレッシャーテストでは、パフォーマンスの結果次第で報酬や罰が与えられるという教示を与えた中で課題を行わせた。その結果、ポストテストからプレッシャーテストにかけての心拍数に有意な増加が認められた。ボールの高さの正確性とグリップ把持力に変化は見られなかったが、3次元動作解析の結果、プレッシャーテストではラケット運動の周期の変動性の減少が認められ、さらにはラケット運動の左右方向の運動変位の減少が認められた。プレッシャー下での注意に関しては、身体運動に対する注意の増加は見られなかったが、注意散漫性の増加が示された。本研究におけるプレッシャー下では運動方略の変化に伴い、ラケット運動のタイミングの変動性や、変位が小さくなる運動学的変化が生じた。
(キーワード：プレッシャー、連続運動スキル、運動学的変数、運動力学的変数、注意)

1. はじめに

運動スキルとは、ある目標を達成するための身体の随意運動であり、これらは、運動の連続性という観点から、離散スキル、系列スキル、連続スキルの3つに分類される¹⁾。離散スキルとは、短時間で遂行するスキルであり、系列スキルとは、複数の離散スキルの組み合わせから構成されるスキルである。また、連続スキルとは、同じ運動を繰り返し遂行するスキルである。そして、これらの運動スキルを心理的ストレスが負荷された状況で遂行す

ることは多い。

心理的ストレスには様々なものがあるが、その1つとしてプレッシャーがあり、優れたパフォーマンスもしくはパフォーマンス向上の重要性を高める因子と定義されている²⁾。そして一般に、心理的ストレスに対するストレス反応は心理、生理、行動の3側面に表出するが³⁾、プレッシャーという心理的ストレスも、これらの3側面にストレス反応を生起させ、その結果としてパフォーマンスが影響を受ける。たとえばプレッシャーによる運動パフォーマンスの低下は、運動スキル遂行時の注意の変化が原因となって生じると考えられており、それらの仮説は2つに大別される。1つは、身体運動に対する過剰な注意配分が原因である自己焦点化モデル²⁾や意識的処理仮説⁴⁾や顕在モニタリング仮説⁵⁾であり、もう1つは、不安などに注意が奪われることで運動スキルの遂行に必要な注意が不足するという注意散漫説⁶⁾や処理資源不足仮説⁷⁾である。これらの仮説を検証した多くの研究⁸⁻¹⁰⁾

* 受付：2009年7月6日 受理：2010年2月4日

** 帝塚山大学

Tezukayama University

*** 広島医療保健専門学校

Hiroshima College of Rehabilitation

**** 広島大学

Hiroshima University

は、ゴルフパッティングなどのように離散スキルを対象としている。

さらに先行研究では、プレッシャーが運動スキルの行動面に及ぼす影響について運動学および運動力学的視点からの検討がなされている。これらの研究では、上述した諸仮説に関連した運動学および運動力学的な特徴を検討するために、これらの仮説を検証した研究^{8~10)}で用いられている課題と同様に、離散スキルを対象に研究が行われている。そしてこれらの先行研究では、プレッシャーによる運動変位の減少^{11~13)}、運動速度の減少^{12,13)}、運動の協応性の低下¹¹⁾が報告されている。また、運動変位¹²⁾、関節間協応¹⁴⁾、タイミング¹⁵⁾などの変動性の増加も報告されている。さらに筋活動に関しては、プレッシャーによる筋放電時間¹⁶⁾、主動筋と拮抗筋の共収縮率¹⁶⁾、筋放電量¹⁷⁾の増加が報告されている。

このような背景から、プレッシャーが運動スキルに及ぼす影響については、離散スキルを対象に、注意という心理的側面や運動学・運動力学的特徴という行動的側面から多くの研究が行われてきた。一方で、系列スキルを対象とした研究では、プレッシャー下でのピアノ演奏における筋放電量ならびに共収縮率の増加^{18,19)}や、高所というストレス状況下においてウォールクライミングを行うときの運動の流暢性の減少²⁰⁾が報告されている。また、連続スキルについては、プレッシャー下において障害物を繰り返し乗り越えるときの下肢の屈曲角変位の減少ならびに運動エネルギーの増加²¹⁾、前腕を回内・回外させることによる両腕の協応運動を繰り返し行うときの運動変位の変動性の減少²²⁾が報告されている。このように離散スキルを対象にした先行研究に比べると、系列スキルや連続スキルに関してはプレッシャー下での運動学・運動力学的特徴について十分に検討がなされておらず、さらにはプレッシャーがこれらのスキルを遂行するときの注意に及ぼす影響を調べた研究も見当たらない。

以上より本研究では、連続運動スキルを遂行するときの注意、運動学的ならびに運動力学的変数、パフォーマンスにプレッシャーが及ぼす影響を調べることを目的とした。なお、スポーツの試合場面や種々の運動課題遂行場面では、報酬、罰、観衆、試合の重要性、他者評価などの様々なプレッシャーが存在するが、本研究ではこのような運動場面に近い状況を実験的に作るために報酬と罰によるプレッシャーを被験者に与えた。

ところで、非プレッシャー下における連続スキルの学習に関しては多くの研究が行われている。これらの研究では、連続スキルの学習に重要な運動学的特徴について報告されており、本研究において用いる運動学的変数の

決定に対して大きな参考となる。たとえば、ジャグリング課題の学習においては全体の運動時間に対する手とボールの接触時間の割合の減少が重要であること²³⁾や、ボールバウンド課題の学習においてはラケットの減速期にボールとラケットを衝突させることが重要であること²⁴⁾が示されている。これらの研究結果から、連続スキルの学習には運動の時間や加速度が重要であると考えられ、これらの指標にプレッシャーが及ぼす影響を検討した。さらにプレッシャー下での離散スキルや系列スキルに関する先行研究では、運動の変位、速度、変動性について多くの研究で調べられており、連続スキルにおけるこれらの変数に対するプレッシャーの影響も本研究では検討した。

そして本研究の第1の仮説は、プレッシャー下での連続スキル遂行中には身体運動に対してよりも、不安感情やプレッシャーといった注意散漫を導く因子に対して注意が向くこととした。離散スキルに関する先行研究では、プレッシャーによって身体運動に対する注意が増加することでパフォーマンスが低下することが示されているが^{4,5,8,9)}、このような身体運動への注意の増加は、前の試行までのパフォーマンスのエラーを修正するために、インターバル中に身体運動に注意を向け、エラーの原因として帰属した身体運動を次の試行において修正することで生じると考えられている²⁵⁾。一方で連続スキルに関しては、試行間インターバルがないため、離散スキルのように試行間インターバル中に前の試行におけるエラーをチェックし、次の試行においてそのエラーを修正するために身体運動に対して注意を向けることができない。そのため、連続スキルを遂行する際には身体運動に対して注意を向けるよりも、不安感情やプレッシャーに対して注意が向き、注意散漫状態になると予想した。

さらに離散スキルを対象とした研究では、非プレッシャー下²⁶⁾ならびにプレッシャー下²⁵⁾の両方において、注意散漫になった際には運動変位の減少や運動速度の減少という運動学的変化が生じることが示されている。本研究のプレッシャー下における連続スキルに関しても、これらの先行研究と同様に、注意散漫に関連した運動学的変化が生じると予想され、これを本研究の第2の仮説とした。また、プレッシャーと運動パフォーマンスの関係について先行研究では、プレッシャー下での生理的覚醒水準と運動パフォーマンスが逆U字関係を示すことや^{27,28)}、認知不安と生理的覚醒水準の両方が高いときにパフォーマンスが低下するカタストロフィーモデル^{29,30)}などが提唱されている。つまり、プレッシャー下での運動パフォーマンスの低下は、プレッシャーによって高強度のストレスが喚起された場合に生じると考えられる。しかしながら、実験室レベルでのプ

プレッシャーでは高強度のストレスを喚起することが困難であり、パフォーマンスの低下まで至らない研究が多い^{14,16)}。つまり、プレッシャー下での運動スキルのパフォーマンスは、プレッシャーによって喚起されるストレス強度に依存すると考えられ、本研究においても実験室で負荷するプレッシャーによって高強度のストレスが喚起された場合には連続スキルのパフォーマンスが低下し、高強度のストレスが喚起されない場合にはパフォーマンスは低下しないと予想し、これを本研究の第3の仮説とした。

2. 方法

2-1. 被験者

右利きの男子大学生15名（平均年齢19.3±1.0歳）が実験に参加した。なお、全ての被験者から実験前にインフォームド・コンセントを得た。

2-2. 課題および装置

各被験者を高さ35 cmの椅子に座らせ、卓球のシェイクハンドラケット（株式会社タマス製）と卓球用ボール（日本卓球株式会社製）を用いて、右手によるボールバウンド課題を行わせた。床面から180 cmの高さを到達基準として、被験者には到達基準を目標として上方にボールを打ち上げさせた。また、被験者は動作解析の校正点として使用した4本のボールに囲まれたエリアの中で課題を行ったが、基準の高さを視認できるように、180 cmの高さで4本のボールの外周を紐で繋いだ。外周の一辺の距離は200 cmであった。各試行は、バウンドを20回連続で行うこととし、20回未満で失敗した場合は、その時点で試行を終了させた。ラケット以外の装置等にボールが触れた場合、ラケットの裏面を使用した場合、椅子から臀部が離れた場合も、その時点でその試行を終了させた。なお、成功と失敗の評価に、ボールの最高到達点の正確性は用いなかった。また、各試行の最初の2バウンドは徐々にバウンドを高くするために低い位置で行わせたため、バウンドの成功回数として数えなかった。

課題遂行場面は、参加者の正面5 m、右斜め前方5 m、右斜め後方5 mの位置から3台の高速カメラ（株式会社ディケイエイチ製）を用いて、サンプリング周波数100 Hzで撮影した。そして動作解析ソフトFrame-DIAS for Windows（株式会社ディケイエイチ製）を用いて、ラケット先端部に装着した反射マーカーとボールの3次元動作解析を行った。グリップ把持力は、小型圧力変換機（株式会社共和電業製）を装着し、PowerLab/4st（AD

Instruments社製）を用いてAD変換を行いコンピュータに記録した。特性不安と状態不安の測定には新版State-Trait Anxiety Inventory-Form JYZ³¹⁾（以下STAIと略す）を用い、心拍数の測定にはハートレイトモニター（キヤノン株式会社製）を用いた。

2-3. 実験手順

各被験者からインフォームド・コンセントを得た後、STAIを用いて特性不安を測定した。その後、ハートレイトモニターの送信機を胸部に、受信機を左手首に装着した。そして、圧力センサをラケットのグリップ部に装着し、右母指末節骨部手掌側と圧力センサが接触するように右母指とグリップ部をサージカルテープで固定した。そして、課題を説明した後、練習1試行を行わせ、引き続きプリテスト5試行を行わせた。プリテスト終了後には、課題を習得させるために60試行（15試行×4ブロック）の習得試行を行わせた。習得試行終了後に状態不安を測定するためにSTAIに回答させ、引き続きポストテスト5試行を行わせた。

ポストテスト終了後、「これからテストとして課題を1試行のみ行います。20バウンド連続で成功した場合には報酬が与えられますが、課題の途中で失敗した場合には実験が最初からやり直しになります」と教示した。この教示は偽教示であり、バウンドが失敗した場合にも実験のやり直しは行わず、報酬として1,000円分の図書カードを全ての被験者に与えた。報酬の内容については事前に被験者に知らせなかった。プレッシャー教示の後、再度状態不安を測定するためにSTAIに回答させ、プレッシャーテスト1試行を行わせた。プレッシャーテスト終了後、課題遂行中の注意や主観的に感じたストレスを測定する質問紙（表1を参照）に回答させた。全質問項目への回答が終了した後、ディブリーフィングとして、実験の目的を述べたうえで、いずれの被験者にも実験のやり直しは課せられず、課題の成功と失敗に関係なく全ての被験者が報酬を得ることができることを説明し、報酬を渡した。

2-4. 測定項目

2-4-1. プレッシャー負荷の操作チェックならびに特性不安

不安には、不安を喚起する事象に対して変化する一過性の状況反応を示す状態不安と、さまざまな事象に対して比較的安定した個人の特徴を示す特性不安の2つが存在する³¹⁾。そこで、プレッシャーの負荷による不安の指標として、プレッシャーを負荷する前後においてSTAIを用いて状態不安を測定した。特性不安は、実験開始前にSTAIを用いて測定した。測定した状態不安得点および特

表1 質問紙の項目

Tab. 1 Questions in the questionnaire.

- A. 実験のやり直しを回避するために、プレッシャーをどの程度感じましたか。
 B. ポストテストで課題を行っている最中に、動作（動きの大きさ、速さ、力の調節、タイミングなど）に関してどのようなことを意識しましたか。
 C. 質問Bに回答したことを、ポストテストに比べて、プレッシャーテストではどの程度意識しましたか。
 D. プレッシャーテストで課題を行っている最中に、質問Bで回答した以外の動作に関する何を何か意識しましたか。また、回答したことによるどの程度意識が向きましたか。
 E. プレッシャーテストで課題を行っている最中に、注意を散漫にさせるもの（やり直しや報酬、自分の不安な感情など）にどの程度意識が向きましたか。
 F. これまでの質問で回答した以外のことを、ポストテストもしくはプレッシャーテストにおいて課題を行っている最中に何か意識しましたか。また、回答したことを、ポストテストに比べて、プレッシャーテストではどの程度意識しましたか。

性不安得点について、STAIマニュアル³¹⁾に記載されている男子大学生 (n=1088) の平均と標準偏差を基にT得点に換算し、標準化した。さらに、プレッシャーを負荷する前後において心拍数を5秒間隔で測定し、平均心拍数を算出した。また、質問紙の質問Aにおいて、被験者がプレッシャー下で主観的に感じたストレスを「とても (8)」～「ある程度 (4)」～「全く (0)」の9件法で回答させた。

2-4-2. パフォーマンス

全ての試行において、バウンドの連続成功回数を記録した。また、3次元動作解析によってボールの到達点を算出し、各テストにおけるボールの到達点と目標値との鉛直方向の誤差の大きさの指標として絶対誤差 (Absolute Error : AE)、誤差の偏りの大きさの指標として絶対恒常誤差 (Absolute Constant Error : ACE)、そして誤差の変動の指標として変動誤差 (Variable Error : VE) を以下の式より算出した¹⁾。

$$AE = (1/n) \sum_{i=1}^n |X_i - 180|, CE = (1/n) \sum_{i=1}^n (X_i - 180),$$

$$ACE = |CE|, VE = \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n [X_i - CE]^2},$$

ただし n = バウンド数

2-4-3. 運動学的変数

ラケット先端部に装着した反射マーカの3次元動作解析を行った。撮影した映像におけるマーカの座標データのスムージングには、カットオフ周波数6 Hzの3点移動平均フィルターを用いた。なお、本研究で用いた座標系は、被験者の右後方のボールと床面との接地点を原点とし、原点から被験者の左後方のボールにおける床面との接地点までをX軸正方向、右前方のボールにおける床面との接地点までをY軸正方向とし、鉛直上方向に向けてZ軸正方向とした。そして1試行の複数のバウンドに対して、鉛直方向におけるラケットの最下点から次のバウンド運動での最下点までをバウンドの1周期とし、各バウン

ド運動の最下点からインパクトまでを振り上げ期とした。

本研究で用いたボールバウンド課題は、ボールの落下が予想される位置に対してラケットを移動させてからボールを打ち上げることを繰り返すという特性を有した。そこで、ラケットの移動距離を表す指標として、3次元空間における総変位を算出した。さらに、XYZの各成分における移動距離を分析するために、X方向総変位、Y方向総変位、Z方向総変位を算出した。なお、これらの変数においては1試行における総変位をバウンド数で除すことで、1周期あたりの移動距離を算出した。また被験者には、バウンドさせたボールを床面から180 cmの高さに正確に到達させることを求めたが、バウンドされたボールの到達距離は、インパクト時のラケットのZ方向位置とZ方向速度に大きく依存した。そこで、試行内の各バウンドにおける値を基に、各試行におけるこれらの変数の平均値を算出した。

また、非プレッシャー下における連続スキルの学習を調べた先行研究では、ボールバウンド課題におけるZ方向加速度²⁴⁾や、ジャグリング課題におけるリズム²³⁾などの指標の重要性が報告されているため、本研究のボールバウンド課題においてもZ方向加速度を算出し、さらには、ラケット運動のリズムを表す指標として、振り上げ期の運動時間を算出したうえで、周期に対する振り上げ期の運動時間の割合を算出し、これらの指標にプレッシャーが及ぼす影響を検討した。

さらに、1試行における変動性を表す指標として、各変数について、試行内の各バウンドに対する値を基に標準偏差を算出した。なお、ラケットの移動距離に関する各指標については1試行における値が1つであったため変動性は算出しなかった。

2-4-4. 運動力学的変数

サンプリング周波数1 kHzで記録した右母指のグリップに対する圧力波形を基に、インパクトにおけるグリップ把持力を算出した。そして、1試行の全バウンドにお

るグリップ把持力の平均値と標準偏差を算出した。

2-4-5. 注意

プレッシャー下での課題遂行中の注意を表す指標として、プレッシャーテスト終了後に、表1に示した6つの質問項目に回答させた。質問C, Fに関しては、ポストテストからプレッシャーテストにかけての注意の変化を「とても意識するようになった (4)」～「全く変わらない (0)」～「全く意識しなくなった (-4)」の9件法で回答させ、質問D, Eに関しては、プレッシャーテストにおいて注意が向いた度合を「とても向いた (8)」～「ある程度向いた (4)」～「全く向かなかった (0)」の9件法で回答させた。なお質問D, Fにおいては、具体的に何に注意したかについて言語報告 (複数回答可) をさせたうえで回答させた。質問Bに関しては言語報告のみとした。

2-5. データ分析

状態不安と心拍数について対応のあるt検定を行い、ポストテストからプレッシャーテストにかけての変化を調べた。また、パフォーマンス、運動学的変数、運動力学的変数に関する全ての測定項目について、テスト (3) の対応のある1要因分散分析を行った。なお、グリップ把持力に関しては、測定上の不備による2名を分析対象外とした。

さらに質問紙の分析について、質問C, Fに関してはポストテストからプレッシャーテストにかけての注意の変化について0を基準に変化した程度を回答させたため、1つの条件の平均値と定数との差の検定³²⁾を用いて、質問C, Fに回答した数字の全被験者の平均値を指定定数0と比べた。また、質問A, Eに関しては、プレッシャーテストにおいて主観的に感じたストレスおよび注意散漫の度合について0を基準に回答させたため、1つの条件の平均値と定数との差の検定を用いて、質問A, Eに回答した数字の全被験者の平均値を指定定数0と比べた。質問Dに関しては、全ての被験者において言語報告がなされなかったため、分析対象から外した。これらの分析にはSPSS 11.5Jを使用し、有意水準を5%未満とした。分散分析の下位検定にはBonferroniの方法を用いた。さらに、分散分析の被験者内要因に対するMauchlyの球面性検定において等分散が仮定できない場合には、Greenhouse & Geisserによる自由度と誤差の補正值を使用した。

3. 結果

3-1. プレッシャー負荷の操作チェック

表2に、ポストテストとプレッシャーテストにおける状

態不安と心拍数の平均と標準偏差を示した。対応のあるt検定の結果、状態不安得点に有意差は見られなかったが、心拍数はポストテストからプレッシャーテストにかけて有意に増加した ($t(14)=7.17, p<.001$)。さらに、質問Aに対する平均回答値は 3.7 ± 2.5 点であり、1つの条件の平均値と定数との差の検定の結果、指定定数0に比べて有意に大きな値を示した ($p<.001$)。

3-2. パフォーマンス

表3に、プリテスト、ポストテスト、プレッシャーテストにおけるパフォーマンスに関する変数の平均と標準偏差を示した。各変数について分散分析を行ったところ、バウンドの成功回数にテストの主効果が認められ ($F(2,28)=22.10, p<.001$)、下位検定の結果、プリテストからポストテスト ($p<.01$)、ならびにプレッシャーテスト ($p<.001$) にかけての増加が認められた。また、AE ($F(1.21,17.00)=4.69, p<.05$) とACE ($F(1.23,17.25)=4.96, p<.05$) にテストの主効果が認められ、下位検定の結果、ACEにおいてはプリテストからプレッシャーテストにかけての減少が認められたが ($p<.05$)、AEにおいては各テスト間に有意差が見られなかった。VEにテストの主効果は見られなかった。

3-3. 運動学的変数および運動力学的変数

表4に、プリテスト、ポストテスト、プレッシャーテストにおける運動学的変数と運動力学的変数の平均と標準偏差を示した。分散分析の結果、変位に関する変数においては、3次元空間における総変位にテストの主効果が認められ ($F(2,28)=3.50, p<.05$)、下位検定の結果、プリ

表2 ポストテストとプレッシャーテストにおける状態不安と心拍数の平均と標準偏差

Tab. 2 Means and standard deviations of state anxiety scores and HR during the post-test and the pressure-test.

	ポストテスト	プレッシャーテスト
状態不安 (T得点)	45.3 ± 8.4	46.5 ± 8.2
心拍数 (bpm)	79.6 ± 16.2	87.6 ± 15.6

表3 各テストにおけるパフォーマンスに関する各測定項目の平均と標準偏差

Tab. 3 Means and standard deviations of measurements of performance during the pre-test, the post-test, and the pressure-test.

	プリテスト	ポストテスト	プレッシャーテスト
成功回数	10.5 ± 6.0	17.2 ± 2.7	18.1 ± 4.9
AE (cm)	26.6 ± 15.5	17.3 ± 10.6	15.7 ± 10.4
ACE (cm)	25.6 ± 16.2	14.8 ± 12.1	13.7 ± 11.7
VE (cm)	10.5 ± 5.6	10.4 ± 3.9	8.4 ± 3.9

表4 プリテスト、ポストテスト、プレッシャーテストにおける各運動学的変数ならびに各運動力学的変数の平均と標準偏差
Tab. 4 Means and standard deviations of kinematic and kinetic variables during the pre-test, the post-test, and the pressure-test.

	プリテスト	ポストテスト	プレッシャーテスト
3次元空間における総変位 (cm)	76.6± 17.6	72.3± 19.9	65.7± 12.5
X方向総変位 (cm)	29.9± 11.3	30.1± 11.9	22.4± 4.8
Y方向総変位 (cm)	34.8± 11.2	29.3± 16.4	23.3± 9.5
Z方向総変位 (cm)	61.7± 14.4	57.8± 12.9	56.2± 12.5
インパクト時のZ方向位置 (cm)	93.0± 7.2	95.2± 8.7	95.4± 9.4
インパクト時のZ方向位置の変動性 (cm)	6.0± 3.0	5.6± 2.3	4.8± 2.7
インパクト時のZ方向速度 (cm/s)	150.7± 24.4	131.1± 19.1	129.0± 17.3
インパクト時のZ方向速度の変動性 (cm/s)	29.0± 13.7	19.6± 7.1	15.5± 6.3
インパクト時のZ方向加速度 (cm/s ²)	-238.2±415.3	-311.5±354.2	-246.5±306.3
インパクト時のZ方向加速度の変動性 (cm/s ²)	356.3±144.6	320.1±124.9	225.7±108.2
周期 (ms)	927.9± 96.2	895.3± 68.7	884.2± 68.2
周期の変動性 (ms)	111.4± 45.7	86.8± 34.2	59.1± 26.1
振り上げ期の運動時間 (ms)	270.0±106.4	261.3± 81.9	245.6± 62.3
振り上げ期の運動時間の変動性 (ms)	76.9± 37.8	60.2± 29.9	48.7± 30.5
振り上げ期の相対周期 (%)	29.0± 10.9	29.0± 8.7	27.7± 7.4
振り上げ期の相対周期の変動性 (%)	6.5± 3.3	4.9± 2.1	4.2± 2.9
インパクト時のグリップ把持力 (kP)	15.8± 8.4	10.1± 6.9	9.9± 7.3
インパクト時のグリップ把持力の変動性 (kP)	2.8± 2.0	1.9± 1.6	1.5± 1.3

テストからプレッシャーテストにかけての減少が認められた ($p < .05$)。また、X方向総変位にテストの主効果が認められ ($F(2,28) = 4.31, p < .05$)、下位検定の結果、プリテストからプレッシャーテストにかけての減少 ($p < .05$)、ならびにポストテストからプレッシャーテストにかけての減少 ($p < .05$) が認められた。さらに、Y方向総変位にテストの主効果が認められ ($F(2,28) = 5.39, p < .05$)、下位検定の結果、プリテストからプレッシャーテストにかけての減少が認められた ($p < .01$)。

インパクト時のZ成分に関する変数においては、Z方向速度にテストの主効果が認められ ($F(1.19,16.61) = 8.57, p < .01$)、下位検定の結果、プリテストからポストテスト ($p < .05$) ならびにプレッシャーテスト ($p < .05$) にかけての減少が認められた。さらに、この指標の変動性にテストの主効果が認められ ($F(1.27,17.82) = 9.91, p < .01$)、下位検定の結果、プリテストからプレッシャーテストにかけての減少が認められた ($p < .05$)。また、インパクト時のZ方向加速度の変動性にテストの主効果が認められ ($F(2,28) = 5.10, p < .05$)、下位検定の結果、プリテストからプレッシャーテストにかけての減少が認められた ($p < .05$)。

周期に関する変数においては、周期の変動性にテストの主効果が認められ ($F(2,28) = 7.78, p < .01$)、下位検定の結果、プリテストからプレッシャーテスト ($p < .01$)、ならびにポストテストからプレッシャーテスト ($p < .05$) にかけての減少が認められた。また、振り上げ期の運動時間の変動性 ($F(2,28) = 3.77, p < .05$) ならびに振り上

げ期の相対周期の変動性 ($F(2,28) = 3.86, p < .05$) においてもテストの主効果が認められたが、下位検定の結果、各テスト間に有意差は見られなかった。

運動力学的変数として用いたグリップ把持力に関しては、インパクト時のグリップ把持力にテストの主効果が認められ ($F(2,24) = 13.87, p < .001$)、下位検定の結果、プリテストからポストテスト ($p < .01$) ならびにプレッシャーテスト ($p < .01$) にかけての減少が認められた。また、上記以外の運動学的変数および運動力学的変数にテストの主効果は見られなかった。

3-4. 注意

1つの条件の平均値と定数との差の検定の結果、質問Cに対する平均回答値は 1.0 ± 2.4 点であり、指定定数0との有意差が見られなかった。質問Eに対する平均回答値は 3.1 ± 2.3 点 ($p < .001$)、質問Fに対する平均回答値は 2.4 ± 1.3 点 ($p < .001$) であり、それぞれ指定定数0に比べて有意に大きい値を示した。

3-5. 特性不安

本研究の被験者における特性不安の平均T得点は、 50.6 ± 7.9 点であった。

4. 考察

本研究ではボールバウンド課題を用いて、連続運動ス

キルの運動学的ならびに運動力学的変数、注意、パフォーマンスにプレッシャーが及ぼす影響を調べることが目的とした。報酬と罰の教示によるプレッシャーを用いることで低強度のストレスが喚起され、プレッシャー下におけるボールバウンド課題遂行中の注意に関しては低強度の注意散漫状態が生じた。さらに運動学的変数に関しては、ラケット運動における周期の変動性が減少し、ラケット運動における左右方向の運動変位の減少も見られた。また、地面から180 cmの高さに正確にボールを到達させることをボールバウンド課題の目標としたが、ボールの到達点と目標値との誤差に関するパフォーマンスの指標においてはプレッシャー下での有意な変化は見られなかった。

プレッシャーの負荷に伴って喚起されたストレスの心理的側面や生理的側面について、本研究ではプレッシャー下での心拍数に有意な増加が認められた。したがって本研究で用いたプレッシャーは生理的側面に対して有効であったと言える。さらに、質問紙に回答した主観的ストレス度は平均約4点であったことから心理的にも「ある程度」のストレスを感じていたと言える。しかし、プレッシャーテストにおける状態不安のT得点は平均で約46点であり、習得終了時からテストにかけて状態不安の変化は見られなかった。

また、報酬、罰、観衆、試合の重要性、他者評価などの様々な種類のプレッシャーが存在するが、本研究ではこの中から報酬と罰によるプレッシャーを被験者に与えた。プレッシャーによる心拍数の変化について先行研究では、スタート時に高いパフォーマンスが求められる陸上の短距離走においては長距離走に比べてスタート時の心拍数が約40 bpm高いという報告³³⁾や、テニスの公式試合では練習試合に比べて心拍数が約20 bpm高いという報告³⁴⁾がある。さらに、観衆の前でピアノ演奏を行う場合には心拍数が約35 bpm高くなるという報告もある¹⁹⁾。これらの先行研究におけるプレッシャーと本研究におけるプレッシャーは異なる種類ではあるが、本研究のポストテストからプレッシャーテストにかけての心拍数の増加は、全被験者の平均で約9 bpmで、最も増加した参加者においても約16 bpmであった。したがって、本研究で喚起されたストレスは、スポーツの試合場面に比べると低い強度であったと考えられる。

そして本研究の第1の仮説は、プレッシャー下でのボールバウンド課題遂行中には身体運動に対してよりも、不安感情やプレッシャーといった注意散漫を導く因子に対して注意を向けることであった。質問紙の分析結果から、プレッシャー下における注意散漫度は約3点を示し、質問紙で用いた評定尺度では4を「ある程度」としたことが

ら、プレッシャー下では低強度の注意散漫状態にあったと言える。さらに、身体運動に対する注意に関する質問項目においてプレッシャー下での有意な変化が見られなかったことから、第1の仮説は支持されたと言える。

次に、プレッシャー下でボールバウンド課題を遂行するときの運動学的ならびに運動力学的特徴に関しては、プレッシャーによってラケット運動における周期の変動性が減少した。離散スキルを対象とした先行研究によれば、プレッシャー下における運動の変動性の減少は、試行間で同じ運動を継続して行うという運動方略を用いることで生じると考えられているのに対して¹¹⁾、変動性の増加は、試行間で身体運動の調整を行うことで生じると考えられている¹²⁾。したがって、プレッシャー下における運動の変動性は、運動を遂行するときに用いる運動方略に依存すると考えられるが、本研究で連続スキルとして用いたボールバウンド課題においても、プレッシャー下では毎回のバウンドにおいて同じ運動を継続して行う方略を用いたために周期の変動性が減少したと考えられる。

さらに本研究のプレッシャー下では、ラケット運動における左右方向の運動変位の減少も見られたが、本研究で用いたボールバウンド課題は、ボールの落下地点に合わせてラケットを移動させるという課題特性を有していた。つまり、ラケット運動の左右方向の移動距離は、ボールの落下位置に依存して決定され、プレッシャー下ではボールの落下位置の左右方向の変動が減少し、それによってラケット運動の左右方向の移動距離も減少したと考えられる。つまり、本研究のプレッシャー下において見られた運動変位の減少は、運動の変動性の減少に依存する二次的な運動の変化であったと考えられる。また本研究では、運動力学的側面としてインパクト時のグリップ把持力を調べたが、この変数においてはプレッシャーによる有意な変化は見られなかった。本研究の第2の仮説では、プレッシャー下でボールバウンド課題を行う際の運動学的特徴や運動力学的特徴について、プレッシャー下での注意散漫が影響して、運動変位の減少や運動速度の減少が生じることを予想した。結果として、この仮説を支持する運動学的変化は見られなかったが、本研究では運動方略の変化に伴う運動学的変化がプレッシャー下において生じたと考えられる。

次に、プレッシャー下でのボールバウンド課題のパフォーマンスについては、パフォーマンスの指標であるバウンドの成功回数やバウンドさせたボールの到達点と基準との誤差においてプレッシャーの負荷による有意な変化が見られなかった。プレッシャー下における生理的覚醒水準の変化と運動パフォーマンスは逆U字関係を示す^{27,28)}

ことから、本研究でのプレッシャー下における覚醒水準は、パフォーマンスに対して負の影響を及ぼさない低い強度であったと考えられる。先行研究においても、実験室では高強度のストレスを喚起することが困難であることが指摘されており³⁵⁾、実験室内でストレスの喚起に成功してもパフォーマンスの低下には至らない研究は数多い^{11-14,16)}。本研究においてもこれらの先行研究と同様の結果が示されたと言える。したがって本研究の第3の仮説では、プレッシャー下でのボールバウンド課題のパフォーマンスは、プレッシャーの負荷によって喚起されるストレス強度に依存すると予想したが、ストレス強度が低強度であったためにパフォーマンスに有意な変化が見られなかったと考えられる。

また、プレッシャー下における注意散漫度とパフォーマンスの関係を説明した処理効率性理論³⁶⁾では、プレッシャー下において注意散漫度が増加しても、注意の処理資源の容量内の増加であるならばパフォーマンスは維持されると説明されている。本研究のプレッシャー下においても、注意の処理資源の容量内の注意散漫度の増加であったため、注意散漫がパフォーマンスに対しては影響を及ぼさなかったと考えられる。また、プレッシャー下における身体運動に対する注意の増加がパフォーマンスの低下を導くと説明する仮説があるが^{24,5)}、本研究のプレッシャー下では身体運動に対する注意の増加は見られず、これもパフォーマンスに変化が見られなかった要因として考えられる。

さらに、運動学的変数とパフォーマンスの関係性について、先行研究では非プレッシャー下における連続スキルの学習に対して、運動の加速度²⁴⁾やリズム²³⁾が重要であることが示されている。そこで本研究では、プレッシャー下におけるボールバウンド課題の加速度とリズムについても調べたが、プレッシャー下においてこれらの指標に変化は見られなかった。本研究のプレッシャー下では周期の変動性の減少や、運動変位の減少という運動学的変化が見られたが、加速度やリズムのように連続スキルの学習に対して重要とされている指標にプレッシャーが影響を及ぼさなかったことも、プレッシャー下でパフォーマンスが低下しなかった原因として考えられる。

なお、本研究では全ての被験者において、ポストテスト終了後にプレッシャーテストを行わせたため、結果の解釈に順序効果の影響を考慮する必要がある。本研究のプレッシャー下で生じた注意の変化や運動学的変化は、プレッシャーによって喚起されたストレスの影響が大きいと考えられるが、ポストテストとプレッシャーテストを行う順番のカウンターバランスを取ることで、順序効果の影響を除外した実験手順を取ることが今後の研究で

は必要と考えられる。また本研究の結果は、低強度のストレス状況下において連続スキルとしてボールバウンド課題を行ったときに限定されるものであると考えられる。したがって今後は、さらに高強度のストレスを喚起することや異なる運動課題を用いるなど、手続き特性や課題特性を拡充させたうえで、プレッシャー下における連続スキルの特徴をさらに検討する必要がある。

5. まとめ

本研究ではボールバウンド課題を用いて、連続運動スキルを遂行するときの注意、運動学的ならびに運動力学の変数、パフォーマンスにプレッシャーが及ぼす影響を調べることを目的とした。報酬と罰の教示をプレッシャーとして用いることでストレスの喚起を試み、質問紙や心拍数の結果から、低強度のストレスを喚起することに成功したと言える。そして、質問紙を用いて課題遂行中の注意を測定した結果、プレッシャー下では注意散漫度の増加が示されたが、身体運動に対する注意の増加は見られなかった。さらに、このような低強度のストレスが喚起された状況で、運動学的側面に関しては、ラケット運動における周期の変動性の減少や、左右方向の運動変位の減少が生じた。しかし、運動学的側面として測定したインパクトにおけるグリップ把持力に変化は見られなかった。また、パフォーマンスの指標においてもプレッシャー下における変化は見られなかった。

参考文献

- 1) R. A. Magill : Motor learning : Concepts and applications. Eighth edition, 2-45, McGraw-Hill Companies Inc, Boston, 2007.
- 2) R. F. Baumeister : Choking under pressure : Self-consciousness and paradoxical effects of incentives on skillful performance, Journal of Personality and Social Psychology, 46, 610-620, 1984.
- 3) P. J. Lang : The application of psychophysiological methods to the study of psychotherapy and behavior modification. In : A. Bergin and S. Garfield (Eds.), Handbook of Psychotherapy and Behavior Change, 75-125, John Wiley, New York, 1971.
- 4) R. S. W. Masters : Knowledge, knerves and know-how : The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure, British Journal of Psychology, 83, 343-358, 1992.
- 5) S. L. Beilock and T. H. Carr : On the fragility of skilled performance : What governs choking under pressure ? Journal of Experimental Psychology, General, 130, 701-725, 2001.

- 6) J. Wine : Test anxiety and direction of attention, *Psychological Bulletin*, 76, 92-104, 1971.
- 7) M. W. Eysenck : Anxiety, learning, and memory : A reconceptualization, *Journal of Research in Personality*, 13, 363-385, 1979.
- 8) L. Hardy, R. Mullen and G. Jones : Knowledge and conscious control of motor actions under stress, *British Journal of Psychology*, 87, 621-636, 1996.
- 9) B. P. Lewis and D. E. Linder : Thinking about choking ? Attentional processes and paradoxical performance, *Personality and Social Psychology Bulletin*, 23, 937-944, 1997.
- 10) R. Mullen and L. Hardy : State anxiety and motor performance : Testing the conscious processing hypothesis, *Journal of Sports Sciences*, 18, 785-799, 2000.
- 11) T. Higuchi, K. Imanaka and T. Hatayama : Freezing degrees of freedom under stress : Kinematic evidence of constrained movement strategies, *Human Movement Science*, 21, 831-846, 2002.
- 12) 田中美吏, 関矢寛史 : 一過性心理的ストレスがゴルフパットニングに及ぼす影響, *スポーツ心理学研究*, 33 (2), 1-18, 2006.
- 13) Y. Tanaka and H. Sekiya : The influence of audience and monetary reward on putting kinematics of expert and novice golfers, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, in press.
- 14) T. Higuchi : Disruption of kinematic coordination in throwing under stress, *Japanese Psychological Research*, 42, 168-177, 2000.
- 15) R. Gray : Attending to the execution of a complex sensorimotor skill : Expertise differences, choking, and slumps, *Journal of Experimental Psychology, Applied*, 10, 42-54, 2004.
- 16) R. S. Weinberg and V. V. Hunt : The interrelationships between anxiety, motor performance and electromyography, *Journal of Motor Behavior*, 8, 219-224, 1976.
- 17) 松本直子, 大築立志 : 課題の達成欲求度が打球動作の失敗に及ぼす影響, *奈良女子大学スポーツ科学研究*, 1, 63-72, 1999.
- 18) M. Yoshie, K. Kudo and T. Ohtsuki : Effects of psychological stress on state anxiety, electromyographic activity, and arpeggio performance in pianists, *Medical Problems of Performing Artists*, 23, 120-132, 2008.
- 19) M. Yoshie, K. Kudo, T. Murakoshi and T. Ohtsuki : Music performance anxiety in skilled pianists : effects of social-evaluative performance situation on subjective, autonomic, and electromyographic reactions, *Experimental Brain Research*, 199, 117-126, 2009.
- 20) J. R. Pijpers, R. R. D. Oudejans, F. Holsheimer and F. C. Bakker : Anxiety-performance relationships in climbing : A process-oriented approach, *Psychology of Sport and Exercise*, 4, 283-304, 2003.
- 21) A. Beuter, J. L. Duda and C. J. Widule : The effect of arousal on joint kinematics and kinetics in children, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 60, 109-116, 1989.
- 22) M. L. J. Court, S. J. Bennett, A. M. Williams and K. Davids : Effects of attentional strategies and anxiety constraints on perceptual-motor organisation of rhythmical arm movements, *Neuroscience Letters*, 384, 17-22, 2005.
- 23) K. Hashizume and T. Matsuo : Temporal and spatial factors reflecting performance improvement during learning three-ball cascade juggling, *Human Movement Science*, 23, 207-233, 2004.
- 24) D. Sternad, M. Duarte, H. Katsumata and S. Schaal : Bouncing a ball : Tuning into dynamic stability, *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, 27, 1163-1184, 2001.
- 25) 田中美吏 : プレッシャーが運動スキルに及ぼす影響, 広島大学大学院生物圏科学研究科博士論文, 2008.
- 26) T. A. C. Beach, S. K. Coke and J. P. Challaghan : Upper body kinematic and low-back kinetic responses to precision placement challenges and cognitive distractions during repetitive lifting, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 637-650, 2006.
- 27) R. Martens and D. M. Landers : Motor performance under stress : A test of the inverted-U hypothesis, *Journal of Personality and Social Psychology*, 16, 29-37, 1970.
- 28) R. S. Weinberg and J. Ragan : Motor performance under three levels of trait anxiety under stress, *Journal of Motor Behavior*, 10, 169-176, 1978.
- 29) L. Hardy : A catastrophe model of anxiety and performance in sport. In : J. G. Jones and L. Hardy (Eds.), *Stress and Performance in Sport*, 81-106, John Wiley, New York, 1990.
- 30) L. Hardy and G. Parfitt : A catastrophe model of anxiety and performance, *British Journal of Psychology*, 82, 163-178, 1991.
- 31) 肥田野直, 福原真知子, 岩脇三良, 曾我祥子, C. D. Spielberger : 新版State-Trait Anxiety Inventory-Form JYZ, 実務教育出版, 東京, 2000.
- 32) 森敏昭 : 第2章 差を吟味する方法, 森敏昭, 吉田寿夫, 心理学のためのデータ解析テクニカルブック, 43-84, 北大路書房, 京都, 1990.
- 33) W. D. McArdle, G. F. Foglia and A. V. Patti : Telemetered cardiac response to selected running events, *Journal of Applied Physiology*, 23, 566-570, 1967.
- 34) 山田幸雄, 森井大治 : 男子テニストッププレイヤーの公式トーナメントにおけるシングルスマッチの心拍数変動に関する事例研究, *スポーツコーチング研究*, 3, http://www.taiiku.tsukuba.ac.jp/sc/3_1/journal.html, 2004.
- 35) A. M. Williams, J. Vickers and S. Rodrigues : The effects of anxiety on visual search, movement, and performance in table tennis : A test of Eysenck and Calvo's processing efficiency theory, *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 24, 438-455, 2002.
- 36) M. W. Eysenck and M. G. Calvo : Anxiety and performance : The processing efficiency theory, *Cognition and Emotion*, 6, 409-434, 1992.