HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	テニス競技におけるサービスパフォーマンスと体力・運動能力および認知機能との関連性
Author(s)	黒田, 裕太
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(教育学)
Dissertation Number	甲第13623号
Issue Date	2019-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k13623
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85706
Type	doctoral thesis
File Information	Yuta_Kuroda.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

テニス競技におけるサービスパフォーマンスと体力・運動能力および認知機能との関連性

博士学位論文

北海道大学大学院　教育学院　健康教育論講座

黒田　裕太

主査

北海道大学大学院　教育学研究院　教授　水野　眞佐夫

副査

北海道大学大学院　教育学研究院　准教授　柚木　孝敬

北翔大学　生涯スポーツ学研究科　教授　沖田　孝一

鹿屋体育大学　スポーツ・武道実践科学系　准教授　髙橋　仁大

目次

第 1 章　緒言.....1

第 2 章　研究小史.....8

2.1.　サービスパフォーマンスと体力・運動能力および心理的要因との関連性...8

2.1.1.　テニス競技におけるサービス速度と体力・運動能力との関連性.....8

2.1.2.　テニスまたは他競技におけるサービス精度と心理的要因の関連性の検討.....10

2.2.　テニス競技における競技特有のパフォーマンスと認知機能の関連性.....12

2.3.　競技パフォーマンスと水分損失.....16

2.3.1. 体力・運動能力および競技特有のパフォーマンスと水分損失との関連性.....16

2.3.2. 認知機能と水分損失との関連性.....21

第 3 章　研究目的と検討課題.....23

第 4 章　　研究課題 I

「大学生テニス選手における体力・運動能力および主観的運動強度と 2nd サービス精度との関連性の検討」

4.1. 目的.....25

4.2. 方法.....28

4.2.1. 対象者.....28

4.2.2. 実験プロトコル.....28

4.2.3. 測定項目.....29

4.2.4 統計処理.....31

4.3. 結果.....31

4.4. 考察.....33

4.5. 要約.....37

第 5 章　　研究課題 II

「大学生テニス選手における 2nd サービス精度と認知機能の関連性の検討」

5.1. 目的.....38

5.2. 方法.....40

5.2.1. 対象者.....40

5.2.2. 実験プロトコル.....40

5.2.3. 測定項目.....41

5.2.4. 統計処理.....42

5.3. 結果.....43

5.4. 考察.....45

5.5. 要約.....49

第 6 章　　研究課題Ⅲ

「大学生テニス選手における水分損失率と 2nd サービス精度の関連性の検討」

6.1. 目的.....50

6.2. 方法.....53

6.2.1. 対象者.....53

6.2.2. 実験プロトコル.....53

6.2.3. 測定項目.....54

6.2.4. 統計処理.....55

6.3. 結果.....56

6.4. 考察.....57

6.5. 要約.....61

第 7 章　総合考察.....62

7.1. 本研究で明らかとなった点.....63

7.2. 今後の課題.....65

7.3. 本研究の成果のテニス競技への応用.....66

7.4. 本研究の結論.....68

謝辞.....69

参考文献.....70

図表.....88

本論文は，以下の原著論文を加筆修正し研究成果をまとめたものである．

主論文

Kuroda, Y, Takizawa, K, & Mizuno, M.（2016）Relevance of perceived exertion and accuracy of second serve in collegiate mens tennis players. *Journal of Sport and Human Performance, 4*（4）, 1-10.（研究課題Ⅰ）

Kuroda, Y., Ishihara, T., & Mizuno, M. Relevance of Perceived Exertion and Cognitive Function on Serve Accuracy among Male University Tennis Players.（研究課題Ⅱ，International Journal of Sport and Exercise Psychology 投稿中）

黒田裕太，石原暢，水野眞佐夫．大学生テニス選手における水分損失率とサービス精度の関連性の検討．（研究課題Ⅲ，スポーツパフォーマンス研究投稿中）

第 1 章　　緒言

テニス競技における技術指導の根幹は 5 つの技術と 5 つの状況である. 5 つの技術は，①サービス，②リターン，③グラウンドストローク，④ボレー，⑤スマッシュであり, 5 つの状況は, ①サービスをするとき, ②サービスを返すとき，③2 人ともバックコートにいるとき，④自分がネットに付こうとしているか，またはすでにネットにいるとき，⑤相手がネットに付こうとしているか，またはすでにネットにいるとき，である（日本テニス協会, 2015）．テニス競技者は，これらの技術および戦術を鍛錬し試合に臨む．このようなテニス競技特有の技術の水準が高いことは，相手と対戦し勝利するためには非常に重要な要因となる．プロテニス選手 22 名を対象とし，616 試合におけるテニス競技特有のパフォーマンスを定量化し，そのデータを分析・検討した先行研究では，試合においてサービスがショット全体の 45%～60%を占め，他の技術（e.g. リターン，グラウンドストローク，ボレー，スマッシュ）よりも打球数が多かった（Johnson, & McHugh, 2006）．1st または 2nd サービスが入ってポイントを取得した割合はそれぞれ，1st Serves Point Won および 2nd Serves Point Won と示され，その指標を用いた 1991 年から 2008 年までの 9144 試合を選手の身体特性や競技パフォーマンスに注目し検討した研究では，勝利試合はサービスエースや 1st Serves Point Won および 2nd Serves Point Won が負けた試合と比較し有意に多いことが報告さ

れており（Ma et al., 2013），テニス競技においてサービスが試合に勝利するための重要な技術であることが考えられる．2001 年から 2008 年の間において 1st サービスおよび 2nd サービスの速度は，上昇しており，ダブルフォールトの本数は年々減少しており，今後もこの傾向を辿るのではないかと考えられている（Cross & Pollard, 2009）（図 1-1）．このことから，現代のテニスは，サービスの速度および正確性が向上していることが考えられる．男子プロテニス協会（ATP）のホームページに記載されている，選手のシングルスの分析データ（Individual Match Stats）では，1991 年から現在までを対象としたテニス選手の 1st Serves Point Won および 2nd Serves Point Won の上位 10 名までのランキングが掲載されている．この 1st Serves Point Won および 2nd Serves Point Won の上位 10 名までのランキングでは, 世界ランキング歴代 1 位のテニス選手は, 1st Serves Point Won のランキングに 3 名, 2nd Serves Point Won のランキングに 6 名が存在し，2nd Serves Point Won のランキングに世界ランキング 1 位の選手が多く存在している．また現役選手は，1st Serves Point Won のランキングに 2 名，2nd Serves Point Won のランキングに 6 名存在し，現役選手も 2nd Serves Point Won のランキングに多く存在している（ATP Individual Match Stats，2018）（表 1-1）．このことから，テニス競技において 2nd Serves Point Won が高いことは試合に勝つ上で重要で，試合における 2nd サービスの重要性は高いと考えられる．また，現

在の世界ランキング上位 10 名における 2nd サービスの打球コースは，T Section と呼ばれるサービスボックスのテニスコート中心側に 54.4 %打つことが示されており（ATP Individual Match Stats. 2018），T Section へ正確にコントロールすることが，テニス競技における競技成績向上に必要な技術だと考える（図 1-2）．

テニス競技における 1st サービスは，フラットサービスやスピード重視で回転量が少ないパワーサービスを用いるのが一般的である（Groppel, 1992）．そのため，1st サービスの研究の大部分は速度に着目している研究がほとんどである．1st サービスの速度に関する研究では，BMI，身長といった身体特性や，肩の筋力，握力，垂直跳びおよびメディシンボール投げといった体力・運動能力との関連性や（Pugh et al., 2003; Wong et al., 2014; Ulbricht et al., 2015; Hayes et al., 2018），動作分析との関連性が報告されている（Antúnez et al., 2012）．これらの知見は，1st サービスの速度を向上させるための指導をする上で，重要な情報となる．一方，2nd サービスは，1st サービスと比較してスライスやスピンを用い回転量を多くし，正確性を高めるのが一般的である（Groppel, 1992）．小屋ほか（2018）は，男子選手を対象にサービスパフォーマンス（e.g.速度および回転量）と体力要素（e.g. 握力，スクワットジャンプ，メディシンボール投げなど）との関連性を検討しており，1st サービスおよび 2nd サービスの速度は体力要素と強い関連性を示したが，回転量と体力要素との関連性は示さなかったことを

報告している．2nd サービスは，ミスをすると失点につながること，安易に打ちやすいコースに配球すると相手に打ち込まれる可能性があることから，精度を重要視するためボールに多くの回転量が必要となる（Chow, 2003）．小屋ほか（2018）は，2nd サービスに重要な回転量は，体力要素よりも技術的要因が関連するのではないかと述べている．精度を重要視する 2nd サービスは，正確で効果的なショットを打球する必要があるが，2nd サービス精度に焦点を当てた研究は見受けられない．

テニス競技は，アジリティー，筋力および有酸素性能力といった競技関連体力が競技成績に影響を与えることは多く報告されている（小屋ほか，2014; Kuroda et al., 2015; Roetert et al., 1992）．また，認知機能特に，実行機能も競技パフォーマンスにとって重要な要因であることが示唆されている（Alexandru et al., 2014; Overney et al., 2008）．実行機能とは，問題解決，論理的思考，計画など目標思考的な制御を要する高次認知機能を支える機能であり，運動は，認知機能でも特に実行機能との関連性が強いことが報告されている（Diamond, 2013）．テニス競技は，オープンスキルが要求されるスポーツである．オープンスキルとは予測不能な環境下で多様な運動を行うスキルと定義され（Poulton, 1957），意志決定，協調運動，素早い反応，絶えず変わり続ける環境の変化に適応することが要求される（Singer, 2000）．テニス競技において，サービスは自分のタイ

ミングで打つことができる唯一のショットである．他のスポーツでは，ボウリング，野球のピッチング，ゴルフのパターなどが挙げられ，これらは実行機能との関連性があるといわれている（Singer, 2000; Jacobson & Matthaeus, 2014）．Jacobson and Matthaeus,（2014）は，短時間での高い集中力を要するスポーツ経験者（例えば，ゴルフ）において実行機能が高いことを報告している．2nd サービスは，サービスボックスに入らなければ失点し，安易に入りやすいコースへ打球すると相手に打ち込まれる可能性があるショットである．そのため選手は，観客や対戦相手への不必要な注意を抑制し，相手コートに打ち込まれにくいコースへ正確に狙うことだけに注力する必要があると考えられる．よって，2nd サービスにおいても実行機能が重要な役割を担うと考えられる．テニス競技の試合における競技パフォーマンス（e.g. ショットエラー，ポイント取得率，1st Serves Point Won および 2nd Serves Point Won）は実行機能との関連性があることが報告されている（石原ほか，2016; Ishihara et al., 2018）．1st Serves Point Won および 2nd Serves Point Won とは, 1st サービスおよび 2nd サービスが入った際のポイント取得率を示しており，1st Serves Point Won および 2nd Serves Point Won と実行機能との関連性が，サービスの技術そのものとの関連なのか，そのあとのグラウンドストロークに関連するものなのか，ポイント取得に対する戦術なのかは不明である．そのため，テニス競技における 2nd サービス精度に焦点を

当て，2nd サービス精度と実行機能との関連性を検討することは意義深いことではないかと考えた．

競技パフォーマンスは，運動中または試合中に低下することが報告されている（Armstrong et al., 1985; Baker et al., 2007; Davis et al., 2015; Smith et al., 2012）．その要因の 1 つに，水分損失が考えられる．運動は，一般的に水分損失下で実施されていることが報告されており（Maughan & Shirreffs, 2010; Osterberg et al., 2009），競技パフォーマンスへの影響は様々な競技で考えられる．先行研究では，水分損失により長距離における走行タイムが遅延したこと（Armstrong et al., 1985），3%の水分損失をしていた場合，30m 走の走行タイムが遅延したこと（Davis et al., 2015），バスケットボール競技において 1 - 4%の水分損失が練習におけるシュートの正確性を低下させること（Baker et al., 2007），ゴルフ競技におけるショットの飛距離や正確性が約 1%で低下すること（Smith et al., 2012）が報告されており，2nd サービス精度でも影響は十分に考えられる．

また，水分損失は，実行機能を低下させることも報告されている．先行研究では，体水分が正常な状態と比較し 2.8%の水分損失により短期記憶が低下したこと（Cian et al., 2000），1%の水分損失によりワーキングメモリの応答が遅延したこと（Ganio et al., 2011）が報告されており，実行機能も水分損失により影響を受けていると考えられる．水分損失による競技パフォーマンスおよび実行機

能が低下することが考えられるため，2nd サービス精度においても水分損失との関連性を検討することは，テニス競技における重要な知見になるのではないかと考えた.

以上の背景を踏まえ本研究では，テニス競技における 2nd サービス精度に焦点を当て，2nd サービス精度と体力・運動能力，実行機能および水分損失との関連性を検討することを目的とした.

第 2 章　　研究小史

2.1.　サービスパフォーマンスと体力・運動能力および心理的要因との関連性

テニス競技におけるサービスは，誰の干渉を受けることなく打てる唯一のストロークであり，戦術的にも重要な役割を果たしている．サービスに関連した研究報告は多いが，その多くがサービス速度との関連性を報告したものが多い．また，テニス競技において，サービス精度に焦点を当てた研究が少ないことから，テニス競技または他競技におけるサービス精度の向上に焦点を当てた心理的要因との関連性の研究報告も紹介する．

2.1.1. テニス競技におけるサービス速度と体力・運動能力との関連性

サービスパフォーマンスでも，1st サービスの速度に着目した論文が多く見られる（Pugh et al., 2003; Antúnez et al., 2012; Wong et al., 2014; Ulbricht et al., 2016; Hayes et al., 2018）．Pugh et al.（2003）は，大学生テニス選手を対象に，脚および肩の筋力，握力とサービス速度を検討した．脚および肩の筋力および握力は，等速性筋力測定器および握力計を使用し，サービス速度との関連性を検討した．その結果，脚と肩の筋力および握力はサービス速度を決める要因ではないことが報告されている．Antúnez et al.（2012）は，17 名の男性テニス選手を対象とし，20 球の 1st サービスを試技し速度および精度を分析した．ビデオカメラにて撮影した動作を三次元解析し，打球の結果との関連性を検討した．その結果，腕の

動きが速くなるほど1stサービスの精度が低下したという負の相関関係を報告した．Wong et al.（2014）は，12 名のエリートテニス選手を対象とし，全身の動作分析および身体計測から得られるデータとサービス速度の関連性を検討した．サービス動作は，1）Back-Swing Phase，2）Lead-Leg-Drive Phase，3）Forward-Swing Phase，4）Follow-Through Phase，の 4 つの場面に分類し評価した．その結果，2）および 3）の場面での膝の動作範囲，2）の場面での膝の伸展速度，3）の場面での肩の可動域と肘の伸展速度および BMI とサービス速度との間に正の相関関係が認められた．Ulbricht et al.（2016）は，ドイツジュニア選手男女 902 名にフィジカルテスト（e.g. 握力，垂直跳び，10, 20m 走，アジリティーテスト，メディシンボール投げ，持久走）とサービス速度の測定を実施し，国内ランキングとの関連性を検討した．その結果，男女ともサービス速度および上半身のパワー（e.g.メディシンボール投げ）とドイツ国内ランキングとの間に強い関連性が認められた．また，その中でも国の代表に選ばれている選手は，地方選手と比較してサービス速度，メディシンボール投げ，持久走が有意に優れていた．Hayes et al.（2018）は，21 名（男子：12 名，女子：9 名）のオーストラリアのエリートジュニア選手を対象にし，サービス速度と脚部の最大筋力，垂直跳び，肩の内外旋（柔軟性）および身体特性との関連性を検討した．その結果，サービス速度と脚部の最大筋力，垂直跳びに有意な正の相関関係が認められた．小屋ほ

か（2018）は，12-24 歳のナショナルジュニア選手およびユニバーシアド代表候補選手の 22 名を対象に 1st サービスおよび 2nd サービスの速度および回転量と体力測定結果との関連性を検討している．その結果，1st および 2nd サービスの速度は体力測定結果（e.g.握力，スクワットジャンプ，バーティカルジャンプ，5m および 20m 走，メディシンボール投げ，方向転換走）と強い関連性が認められた．

これまでの先行研究から，1st サービス速度は，身体特性，体力要素およびサービス動作との関連性が報告されており，1st サービス精度は，サービス動作との関連性が報告されている．一方で，2nd サービスに関する研究は，サービス速度に関連する報告のみであり，2nd サービス精度における検討は不十分である．

2.1.2. テニスまたは他競技におけるサービス精度と心理的要因の関連性の検討

Guillot et al.（2013） は，サービスの動作および軌道イメージさせ打球することにより，サービス精度が向上することを報告している．12 名のエリートテニス選手が一般的なトレーニングを受けた場合と，サービス動作および軌道をイメージするようトレーニングした場合だと，イメージトレーニングを受けた場合に，サービス精度および速度の大幅な向上と，試合中の 1st Serve Point Won の大幅な改善が認められた．Velentzas et al.（2011）は， 30 名の女子バレーボール選手を対象に，バレーボール競技におけるイメージトレーニングがフローター

サービス精度に与える影響を検討した．サービス動作のイメージトレーニング

をルーティンに加えることによりサービス精度が向上したことを報告しており，

選手に対する心理的なアプローチによりサービス精度の向上が認められた．

2.2. テニス競技における競技特有のパフォーマンスと認知機能の関連性

テニス競技におけるサービスは，重要なストロークであり幅広い技術と身体能力を要するためもっとも複雑なストロークである（Girard et al., 2006; Kovacs & Ellenbecker, 2011）．サービスは，下半身により地面を蹴り上げる力を上半身へ伝達する運動連鎖からラケットおよびボールへ力を伝達する動作を要する．効果的なサービスは，下肢および上肢の同調運動，必要な筋肉の同時作用および身体の回転により生まれる（Elliott et al., 2003; Kovacs & Ellenbecker, 2011）．先行研究から，サービスに関する研究の多くはサービス速度と体力・運動能力およびサービス動作そのものに焦点を当てることが多く，特に 1st サービスによる検討が多かった．サービス動作そのものに焦点を当てるといった点では，他のストローク（e.g. グラウンドストローク）でも同様である．

近年，テニス競技における競技成績や競技パフォーマンス（e.g.ミスショットの数，ポイント取得率）は，認知機能，特に運動と関連のある実行機能との関連性が報告されている（Overney et al., 2008; Alexandru et al., 2014; 石原ほか, 2016; Ishihara et al., 2018; Ishihara et al., 2018）.

Overney et al.（2008）は，18 名のテニス選手と 18 名のトライアスロン選手および 19 名の非鍛錬者に対し，7 つの課題に対する反応速度，正確性，注意機能を評価した．その結果，テニス選手は，他の対象者と比較して課題に対する

正確性および反応速度において良い成績を残した．この結果に対し Overney et al.（2008）は，トライアスロン選手や非鍛練者と比較し，普段からボールにすばやく反応し，限られた時間の中でボールの軌道をイメージし，バウンドの位置を正確に予測することを必要とするため，反応速度や判断の正確性に長けていのではないかと考察している．Alexandru et al.（2014）は 13 歳から 18 歳までの 67 名のテニス選手を対象に，注意機能，モチベーション，正確性，性格診断を実施した．その結果，国内ランキングが上位の選手は，これらの成績が良好であり，競技成績との関連性を示した．石原ほか（2016）は，全国大会ベスト 8 の実力を持つ 14 歳の女子テニス選手 1 名を対象とし, シングルスゲーム時(1 セット）の実行機能（Local-global Task：認知処理速度，正確性および認知の柔軟性）と競技パフォーマンスをチェンジコート毎（2 ゲーム毎）に測定し，認知処理速度，正確性および注意機能を評価した．その結果，Local-global Task（認知処理速度，正確性および注意機能）の成績が試合時のショットエラーやポイント取得率と関連性があることを報告している．このことから，シングルスゲーム時における注意機能の低下が競技パフォーマンスに影響を与えた可能性が示唆された.

1st サービスおよび 2nd サービスに関連した研究として，Ishihara et al.（2018）は，大学テニス選手 16 名を対象とし，模擬試合の前，模擬試合中，模擬試合後

における実行機能（Local-global Task）と競技パフォーマンスとの関連性を検討した結果，Local-global Task の成績が高かった場合，試合時のポイント取得率および 1st Serves Point Won が高かった事，石原ほか（2017）は，同様の実験で実行機能（3-back task）の個人内変動が大きいほど 2nd Serves Point Won が低かった事を報告しており，実行機能とテニス競技におけるパフォーマンスに関連性があることを報告している．

実行機能は，他競技での競技成績や体力とも関連性があることが報告されている．Vestberg et al.（2017）は，12-19 歳のスウェーデンのトップサッカー選手 30 名を対象とし，実行機能（e.g. demanding working memory task および Design Fluency task）を測定した結果，実行機能の成績が良い選手ほど試合でのゴール数が多いことを報告した．Labelle et al.（2013）および Stroth et al.（2009）は，最大酸素摂取量が低い者は運動の高強度化に伴い実行機能が低下したが，最大酸素摂取量の高い者は，高強度な運動時も実行機能が維持されたことを報告している．

前述の先行研究から，テニス競技および他の競技種目において実行機能と競技パフォーマンス（e.g. 競技成績や競技特有の技術）との関連性が示されており，競技パフォーマンスに与える影響を考える上で認知機能を考慮する必要があるではないかと考えられる．そこで，本研究で検討している 2nd サービス精

度に影響を与える要因として実行機能に注目し，両者の関連性を検討することとした.

2.3. 競技パフォーマンスと水分損失

2.3.1. 体力･運動能力および競技特有のパフォーマンスと水分損失との関連性

これまでの先行研究から，1st サービス速度，試合時のポイント取得率，1st Serves Point Won および 2nd Serves Point Won などのテニス競技のパフォーマンスは，身体組成，体力・運動能力または高次認知機能に代表される認知機能が関わっていることが考えられた．競技スポーツにおける選手の競技パフォーマンスが低下する要因として，水分損失が考えられる．運動は，一般的に水分損失下で実施されていることが報告されている（Maughan & Shirreffs, 2010; Osterberg et al., 2009）．この水分損失が，競技パフォーマンスまたは実行機能に与える影響を整理していく．また，水分損失が誘発される要因として，運動，熱ストレス，水分補給の制限，利尿剤の使用などが挙げられるが，今回，取り上げていくのは利尿剤使用以外の研究とした．

競技スポーツに伴う発汗による体水分の減少は，筋力，運動能力および各競技特有のパフォーマンスの低下を引き起こすことが報告されている．Serfass et al.（1984）は, 11 名の大学生に水分損失を起こしていない時, 水分損失が 5%の時, および水分補給し体重を戻した時の 3 条件で握力を測定した結果, 3 条件に有意な変化は認められなかった．この研究は，急速減量による水分損失だったために変化が認められなかったと示唆されている．Silva et al.（2011）は，27 名の男

性柔道選手を対象とし，午前および午後で 2 時間ずつ乱取りを実施して，握力の変化を検討した結果，握力が 2%以上低下した選手は，体水分の細胞内液の減少が認められたことを報告している．また，Abián-Vicén et al.（2012）は，70 名（男性：46 名，女性：24 名）のバドミントン選手を対象に，試合の前後において，垂直跳びおよび握力（両手）を測定した結果，男性選手の非利き手の握力のみ低下した．このときの水分損失率は，男女とも約 0.3%であった．よって水分損失における影響は，体水分が減少する時間と指数関数的に増加するものではないかと考えられる．Meyer et al. （2016）の水分損失による運動能力への影響を報告した書籍では，筋力およびパワーは水分損失により低下することが報告されており，体内の水分損失が筋力およびパワーに影響を与えることが考えられる．競技スポーツにおけるパフォーマンスは，筋力およびパワーに影響を受ける．そのため水分損失は，競技パフォーマンスの低下の要因のひとつであると考える．

また，水分損失は，有酸素性運動能力に代表される持久的な能力の低下を引き起こすことが報告されている（Armstrong et al., 1985; Cheuvront et al., 2003; Sawka et al., 2001; Shirreffs., 2005）．例えば，Armstrong et al. （1985）は 8 名の男性を対象とし，1500m，5000m および 10000m 走における水分損失による走行タイムの影響を検討した結果，1.6-2.1%の水分損失により 5000m および 10000m

の走行タイムの遅延が認められ，水分損失が中長距離における競技パフォーマンスに影響を与える可能性を示唆している．同様に，無酸素性運動能力に代表される短距離走でも，水分損失の影響を受けるという報告がされている．Davis et al.（2015）は， 8 名の大学野球選手を対象とし，体水分が充足している条件と3%の水分損失が生じている条件で，30m 走を 1 セット 8 回を 3 セット実施した結果，3%の水分損失が生じていた場合に 2 セット目以降の 30m 走の走行タイムが体水分が充足している条件と比較して遅延することを報告している．これらから，水分損失により短・中・長距離における走行タイムの遅延が生じる可能性が考えられる．

水分損失は，競技特有のパフォーマンスの低下を引き起こすことが報告されている．Baker et al.（2007）は男子バスケットボール選手 17 名を対象とし 3 時間のトレッドミル走行を実施し，70 分の休憩の後コーチ考案のバスケットボール特有の技術を有する練習を 80 分実施した．体水分を充足させる条件と 1%，2%，3%，4%の脱水をそれぞれ生じさせる条件で，各条件が練習でのパフォーマンスにどのような影響を与えるのか分析したところ，水分損失が大きくなるにつれて練習で実施したシュート練習（e.g. レイアップシュート，3 ポイントシュート，フリースロー）での成功本数が低下していくことを報告している．また，Smith et al.（2012）は，7 名のゴルフ選手を対象とし，約 1.5%の水分損失を

起こしている場合，水分が体内に充足している条件と比較して，ショットの飛距離および正確性が低下することを報告している．これらの先行研究は，各競技特有のパフォーマンスを対象としており，特にバスケットボールのシュートおよびゴルフのショットというのは正確性が求められるものであることから，テニス競技における正確性が求められる技術にも水分損失による影響があるのではと考えられる．

テニス競技における競技パフォーマンスの低下を報告した論文のうち，水分損失のデータを示した論文は少ない．Davey et al.（2002）は，18 名（男性 : 9 名，女性 : 9 名）の熟練されたテニス選手を対象としテニス競技特有の高強度間欠的な運動試験（25%，50%，75%の強度および疲労困憊するまで実施）の前後においてグラウンドストロークおよび1stサービスの精度の変化を検討した研究では，1st サービスの精度が約 30%の低下を示した．この実験における水分損失率は約 1.5%であった．Davey et al.（2003）は，10 名（男性 : 5 名，女性 : 5 名）のテニス選手を対象に 92 分間の模擬試合およびテニス競技特有の高強度間欠的な運動試験を実施した結果，グラウンドストロークの精度が，最大 81%の低下を示したことを報告している．この実験における水分損失率は約 1.7%であった．Gomes et al. （2011）は，2 名の国別対抗戦（デビスカップ）に出場している選手を対象に，5 セットマッチの模擬試合を実施させた．その結果，1 ポイントあたりの

ラリーの本数は，試合が進行するに伴い，低下することを報告している．2 名とも水分損失率は 2.5%以上であった．しかし，これらは水分損失と競技パフォーマンスとの関連性は報告していない．また，Lyons et al. （2013）は，13 名（男性：7 名，女性：6 名）のランキングの高いテニス選手と 17 名（男性：13 名，女性：4 名）のランキングの低いテニス選手を対象とし，テニス競技特有の高強度間欠的な運動試験を 70%および 90%の運動強度で実施し，グラウンドストロークの精度を検討した結果, 90%の運動強度で実施した際にランキングの高いテニス選手では 40.3%，ランキングの低いテニス選手では 49.6%の低下を示した．この研究は，水分損失率を記載しておらず不明であるが，前述の先行研究と同じ運動を実施しているため，水分損失が生じていたのではないかと考えられる．

以上を踏まえると，発汗による体内の水分損失は競技特有のパフォーマンスに影響を与えていることが確認できる．前述のように，テニス競技においても体水分の減少により競技特有のパフォーマンス（e.g. 1st サービス精度）の低下が認められている．テニス競技では，ATP ランキングの歴代 1 位の選手は 2nd Serve Point Won の確率が高かったこと，近年のグランドスラム大会におけるダブルフォールトの本数が減少してきていることから, 2nd サービスの精度を維持することは，試合で勝つための 1 つの要因ではないかと考えられる．また，2nd サービスは，確実にサービスボックスへ入れないと失点してしまう．そのため

2nd サービスは，正確性を重視するショットである．Reid et al.（2010）は，ATP ランキングの TOP100 位の選手を対象に，ATP ランキングと ATP のウェブサイトから入手できる選手の競技パフォーマンス（e.g. 1st Serve Point Won，2nd Serve Point Won）との関連性を検討した結果，2nd Serve Point Won の確率が高い選手ほど，ATP ランキングが高いことが報告されている．他競技における水分損失率の影響を受けているパフォーマンスは，主に正確性を必要とするものであり，テニス競技における 2nd サービス精度も同様の技術が重要なことから，検討をする必要があるのではと考える．

2.3.2. 認知機能と水分損失との関連性

水分損失（1-4%）は，前述の通り，有酸素性能力，筋力および競技パフォーマンスに悪影響を及ぼすことが知られている．一方で，認知機能（e.g. 実行機能）が水分損失により悪影響を及ぼすことも報告されている．水分損失と認知機能に関する初期の研究では，2%の水分損失により実行機能と情報処理能力が低下することを報告している（Gopinathan et al., 1988; Sharma et al., 1986）. また，2%以上の水分損失により実行機能が低下することを報告している研究もある（Cian et al., 2000; Carrasco, 2008; Patel et al., 2007）．Cian et al.（2000）は，2.8%の水分損失により短期記憶が低下すること，Patel et al.（2007）は，2.5%の水分損失により集中力が低下すること，Carrasco.（2008）は，3.9%の水分損失により

短期記憶，注意機能および反応時間が低下することを報告している．一方で，Ganio et al.（2011）は，1%の水分損失で，ワーキングメモリの低下が起こることを報告しており，水分損失による実行機能への影響の境界線を考えるにはばらつきがある．Wittbrodt and Millard-Stafford.（2018）は，水分損失と認知機能との関連性をメタ解析した．その結果，様々な実験方法を用いた研究にもかかわらず，水分損失による影響は重大な障害を誘発すること，認知機能（e.g. 実行機能）は，単純な反応時間よりも影響を受けやすいこと，水分損失が 2%を超えるようであれば，実行機能に影響を及ぼすことを報告している．

第3章　　研究目的と検討課題

テニス競技におけるサービスパフォーマンス（e.g. 速度や正確性）の検討は，主に 1st サービスの速度に関連する研究が多く行われてきた．1st サービスの速度は身長，BMI，体力・運動能力などとの関連性が示唆されている．一方，先行研究では，2nd サービスも重要な技術となることが示唆されている．しかしこれまでの研究では，2nd サービスの速度や正確性との関連性を検討している研究は少ない．そこで本研究では，先行研究を踏まえてテニス競技の重要な技術として 2nd サービスを取り上げ，テニス競技における 2nd サービス精度に焦点を当て，2nd サービス精度と体力・運動能力，認知機能および水分損失との関連性を検討することを目的とした．

研究課題 I 「大学生テニス選手における体力・運動能力および主観的運動強度と 2nd サービス精度との関連性の検討」

大学生のテニス選手を対象とし，一般的なテニスの練習を模倣した実験を実施し，実験の前後で選手の握力，5 方向走，主観的評価および 2nd サービス精度を測定し，2nd サービス精度と各測定項目との関連性を検討した．

研究課題Ⅱ「大学生テニス選手における 2nd サービス精度と認知機能の関連性の検討」

研究小史において，テニス競技における競技パフォーマンスが認知機能特に，実行機能との関連性があることから，実行機能と 2nd サービス精度との関連性を検討した.

研究課題Ⅲ「大学生テニス選手における水分損失率と 2nd サービス精度の関連性の検討」

運動をすることにより，体水分が損失することが考えられる．研究小史において体内の水分損失により競技パフォーマンスの低下が生じることが考えられるため，水分損失と 2nd サービス精度との関連性を検討した.

第 4 章　研究課題 I

大学生テニス選手における体力・運動能力および主観的運動強度と 2nd サービス精度との関連性の検討

4.1. 目的

現代のテニス競技は，サービスの質（e.g.スピードおよび正確性）を維持・向上させる必要がある．Kovacs（2007）は，プロテニス選手においてトレーニング科学の進歩により身体能力の向上が急速に進み，平均 210km / h のサービスを打てることが一般的であり，身体活動や運動強度も以前と比較し高くなったことを報告している．Johnson and Mchugh.（2006）は，全仏オープン，全英オープンおよび全米オープンという異なる大会を対象に 5 つのストローク（グラウンドストローク，ボレー，スマッシュ，サービス，リターン）の使用割合を調査した結果，1st および 2nd サービスが 3 つの大会でそれぞれ 45%，60%，および 56%と最も高い割合を占めていたと報告している．さらに，Ma et al.（2013）は，1991 年から 2008 年の間に行われた ATP シングルス大会に参加した 9144 人の選手を対象とした定量的研究において，サービスエース，1st Serves Point Won および 2nd Serves Point Won が試合の勝敗に関連しており，サービスの質の維持・向上が試合を勝ち進むためには重要だといえる．

テニスの試合の運動強度を検討した研究において，20-30 歳のテニスの鍛錬者を対象とした場合の平均心拍数（HR）は，140-160bpm であり，長時間のラリーが続いた時は，最高 190-200bpm まで上昇することが報告されている（Fernandez-Fernandez et al., 2009）．一方，主観的運動強度（RPE）を用いた研究では， 11（軽い）から 14（ややきつい）の平均値が得られ，最高値で 17（非常にきつい）であり，試合中に漸増的に運動強度が上昇することを報告している（Fernandez-Fernandez et al., 2009）．

このようにテニス競技において試合中の生理・心理的な疲労は，高い状態にあり，競技の進行に伴う生理・心理的な疲労は，選手の競技パフォーマンスを損なう可能性がある（Fernandez-Fernandez et al., 2009）．Davey et al.（2002）は，テニス競技特有の高強度間欠的な運動試験により，疲労困憊になったときのストローク精度が 69%低下したこと， Lyons et al.（2013）は，同様の試験（RPE = 18）により，ストローク精度が 40%減少することを報告しているが，2nd サービス精度に関する報告はない．これまでの研究におけるテニス競技特有の高強度間欠的な運動試験は，マシンの球出しによる試験が多いため（Davey et al., 2002; Lyon et al., 2013），テニス競技の特徴である対人競技から離れており，実際のショット速度や回転量ではない．そこで，本研究で実施した実験は，テニス競技におけるすべてのショットを含むように設定し実施した．

テニス競技において試合に勝つためには，選手は様々な体力・運動能力（e.g. スピード，敏捷性，パワー）を必要とする（Kovacs, 2006）．また，選手の体力・運動能力は，競技パフォーマンス（e.g. サービス速度，グラウンドストローク速度）と強い正の相関関係が報告されている（Fernandez-Fernandez et al., 2009）．テニス競技における重要なショットであるサービス，特に 1st サービスにおける速度および精度は，身長，BMI および体力・運動能力との関連性が多く報告されている（Sebolt, 1970; Pugh et al., 2003; Antúnez et al., 2012; Wong et al., 2014; Ulbricht et al., 2015; Hayes et al., 2018）．近年のグランドスラム大会は，ダブルフォールトの本数が減少してきていること（Cross & Pollard, 2009），Reid et al.（2010）は，ATP ランキングの TOP100 位の選手を対象に，競技パフォーマンス（e.g. 1st Serve Point Won，2nd Serve Point Won）との関連性を検討した結果，2nd Serve Point Won の確率が高い選手ほど，ATP ランキングが高いことを報告している．2nd サービスは，確実にそして相手に打ち込まれないようサービスボックスへ入れないと失点してしまう．そのため 2nd サービスは，正確性を重視するショットである．このことから，2nd サービス精度は，試合で勝つための 1 つの要因ではないかと考えられる．また，テニス競技における競技パフォーマンスの研究は，1st サービス速度に関連するものが多く，2nd サービス精度に焦

点を当て，体力・運動能力ならび心理的な評価との関連性を検討した研究はない．

本研究では，健常な大学生テニス選手を対象とし，体力・運動能力と 2nd サービス精度のパフォーマンスおよび RPE の関係を評価することを目的とした．

4.2.方法

4.2.1.対象者

全日本学生テニス選手権の地域予選出場の健康な成人男性 8 名とした（対象年齢：20-27 歳，身長 165.3-180.0cm，体重 55.7-73.1kg）．対象者の競技レベルは，全日本学生テニス選手権大会に出場する選手とした．また， 被験者は全員右利きであった．

対象者は，実験前日および当日に日常摂取している食事を摂取すること，実験の前日のアルコール摂取を避けること，実験の当日にカフェインと喫煙を避けるように指示された． 本研究は，北海道大学大学院教育学研究院倫理委員会の承認を得て，全ての対象者に本研究の目的，方法および実験の安全性について説明を行い，書面による研究参加の同意を得た上で実施した．

4.2.2.実験プロトコル

実験前に対象者は，試合時に実施するウォームアップを行った．今回の実験では，テニス競技における全てのショットを打つこと，一般的な練習の流れを

模倣することで，日常のテニス競技における状況を再現するため以下の流れで実施した．

対象者 2 人 1 組となり 20 分間のグラウンドストロークラリー（ストレート方向とクロスコート方向にそれぞれ 10 分間），ボレー&ストロークを 20 分間（ボレーvs ストロークをそれぞれ 5 分間, ストレートおよびクロスの 2 方向実施），最後に 30 分間の試合（シングルス）の合計 80 分間で実施した（図 4-1）．

実験中は 10 分おきに水分摂取を認め，摂取量は自由とした．各測定は，実験前（PRE），実験中（INTER）および実験後（POST）に実施された．

4.2.3.測定項目

1）握力

対象者の筋力は，握力計（竹井機器工業）を用いて利き手の握力を測定した．握力は，各測定時 10 秒間隔で 3 回実施された．

2）5 方向走

対象者の敏捷性は，5 方向走を用いて評価した．テニスコートのセンターマークに立ち，合図でシングルスコートとベースラインの交点に設置したボールに触りセンターマークに戻る．この動作を，サービスラインとシングルスサイドラインの交点（数字の 1），サービスラインとシングルスのサイドラインの交点（数字の 2），サービスラインとセンターラインの交点（数字の 3），サービス

ラインとシングルスのサイドラインの交点（数字の 3），シングルスコートとベースラインの交点（数字の 5）の順序で実施した（図 4-2）．5 方向走は，各測定時 10 秒間隔で 3 回実施された．

3）主観的運動強度

対象者の実験における主観的運動強度（RPE）は，Borg Scale を用いて評価した （Borg, 1982）．「どのくらいきつかったか？」の問いに対し，15 項目の運動強度が提示されており，「非常に楽である」から「非常にきつい」までを回答するものであり，対象者が主観的に感じている「きつさ」を評価するものである．主観的運動強度は，実験後に測定実施者の問診により聞き出された．

4）主観的疲労感

実験における上肢および下肢の主観的疲労感は，Visual Analogue Scale（VAS）を用いて評価した．VAS は，0cm が「まったく疲れていない」，10cm が「疲労困憊である」を示す 10cm の直線である．対象者は，そのスケール上に主観的な疲労感の度合いを直線に交わるように記入した．主観的疲労感は，実験前，40 分後および実験後で測定を実施した．

5）サービス精度の測定

実験開始前と終了直後に，2nd サービスを 20 球打ち，サービス精度を測定した．サービスの成功範囲は，対象者から見てデュースサイドのサービスボック

スの右奥の隅に長さ 1.07m のシングルススティック 2 本で作成した正方形の枠とした（図 4-3 および 4-4）．対象者は，テスト前に 1 分間のサービス練習を実施した．2nd サービス精度の測定は，実験前後で実施され，テニス競技の経験が豊富な 2 人の検査者による目視で判定した．

4.2.4.統計処理

対象者の実験前，実験開始 40 分後および実験後における握力，5 方向走，主観的疲労感の比較は，フリードマン検定を用いて分析した．実験前後のサービス精度の比較はウィルコクソンの順位和検定を用いて評価した．

各測定項目の関連性はスピアマンの順位相関係数を用いて評価した．すべての測定値は平均値±標準偏差として表し，これらにおける有意水準は $p < 0.05$ とした．

4.3.結果

4.3.1.筋力および 5 方向走の変化

対象者の実験前，実験開始 40 分後および実験後における握力の平均値はそれぞれ，51.3 ± 4.7 kg，51.1 ± 5.0 kg，51.3 ± 6.0 kg であり，実験における握力に有意な変化は認められなかった（図 4-5）．

対象者の実験前，実験開始 40 分後および実験後における 5 方向走の走行タイムの平均値はそれぞれ, 15.89 ± 0.82 秒, 15.81 ± 0.67 秒, 15.77 ± 0.76 秒, であり，実験における走行タイムに有意な変化は認められなかった（図 4-6）.

4.3.2.実験後の主観的運動強度と主観的疲労感の変化

対象者の実験後の主観的運動強度の平均値は, 14.6 ± 2.8 であった. 実験前, 実験開始 40 分後および実験後における上肢の主観的疲労感はそれぞれ，2.3 ± 1.3cm，5.6 ± 1.4 cm，7.0 ± 1.1 cm であった．実験前と比較し，実験開始 40 分後（$\chi 2$（2）= 14.250，p ＜ 0.05，r = .80）および実験後（$\chi 2$（2） = 14.250, p ＜ 0.01，r = 1.33）において有意に高値を示した． 実験前，実験開始 40 分後および実験後における下肢の主観的疲労感はそれぞれ，3.3 ± 1.7 cm，6.0 ± 1.2 cm，7.5 ± 0.8 cm であった．実験前と比較し，実験後（$\chi 2$（2）= 14.250, p ＜ 0.01，r = 1.33）において有意に高値を示した（図 4-7）.

4.3.3.サービス精度の変化

対象者の実験前後におけるサービス精度の平均値はそれぞれ，8.4 ± 2.4 球, 6.9 ± 1.6 球であった（図 4-8）．実験前と比較して，実験後に減少傾向が認められた（Z（7）= 1.687，p ＜ 0.1，r = 0.60）.

4.3.4.サービス精度と各測定項目との関連性

サービス精度と各測定項目との関連性を検討した結果，実験後のサービス精度と実験後の主観的運動強度に負の相関関係が認められた（$r_s = -0.81$，$p < 0.01$）（図 4-9）．サービス精度と上肢および下肢の主観的疲労感，握力，敏捷性には関連性が認められなかった．

4.4.考察

本研究では，健常な大学生テニス選手 8 名を対象に握力，5 方向走，主観的運動強度，主観的疲労感および 2nd サービス精度を測定し，2nd サービス精度との関連性を検討した．80 分の実験を通して，握力および 5 方向走の走行タイムに有意な変化は認められなかった．一方，主観的疲労感は上肢・下肢ともに実験後に有意に上昇した．2nd サービス精度との関連性を検討した結果，実験後の主観的運動強度と負の相関関係が認められた．

4.4.1.筋力，敏捷性，主観的評価および 2nd サービス精度の変化の検討

本研究では，筋力の指標として握力の測定を実施した．3 回の測定における握力の平均値は，有意な変化が認められなかった．テニス競技は，ラケットを握る，ラケットを振り回すなど手腕部の把持動作が重要な役割を担っている．またボールがラケットに当たった際，把持動作のメインである前腕は，ボールの衝撃を初めに受ける（Hennig, 2007; Wei et al., 2006）．そのため，Eygendaal et al.

（2007）は，ストロークおよびサービスのボール速度の増加，それに伴う選手に要求される敏捷性や持久的能力の増加により，選手の身体にかかる物理的ストレスが増加しており，そのことがテニス競技の外傷および障害の増加に繋がっている事を指摘している．特に，テニス肘といわれる，前腕の障害はテニス競技に多く，近年のテニス競技では前腕にかかる負荷が増加し疲労が蓄積していることが挙げられている（Pluim et al., 2005）本研究においては，上腕に対する疲労感は上昇したものの，握力には影響がなかった．これは，実験を通して筋力が維持されていたことを示している．

敏捷性の指標として使用した5方向走も,3回の測定における平均値において,有意な変化が認められなかった．Girard et al.,（2006）は，12 名のテニス選手を対象に 3 時間の試合を実施させ，試合時の 30 分毎および試合後 30 分の時に，下肢の最大筋力発揮，スクワットジャンプおよび垂直跳びの測定値の変化を検討し，最大筋力発揮は試合後 150 分後，スクワットジャンプおよび垂直とびのパフォーマンスは試合を通して変化は認められなかった．本研究においても，下肢のパフォーマンスは実験前後において変化せず，下肢の動作は上肢の動作と同様に実験前後において同水準のパフォーマンス発揮をしていたのではないかと推察される．

主観的疲労感は，実験時間の経過と共に増加した．主観的疲労感は，対象者が対象部位に感じた主観的な「疲労感」を評価したものである．疲労感は，本来自身を守る防衛反応だと考えられており，自発的な行動を減少させる．本実験では，実験前，実験中および実験後において，握力測定および 5 方向走を最大努力での測定実施を要求した．また，本実験における主観的運動強度の平均値が 14.6 ± 2.8 であったことから，対象者は，疲労感を感じているものの，実験を通して余力があった可能性が考えられる．そのため，疲労を感じているが，最大努力での握力測定および 5 方向走を強制的に実施させた結果，握力および 5 方向走の走行タイムが維持できたのではないかと考えられる．

サービス精度は，実験開始前と比較し実験後で減少傾向が認められた．筋力や敏捷性に変化が現れず，2nd サービス精度にのみ変化が現れた要因として，2nd サービスが体力要因よりも技術的要因が関連している可能性が考えられる（小屋ほか，2018）．また，Hornery et al.（2007）は，試合時間の経過によりサービス動作（e.g. ボールを離す腕の位置およびボールの位置）の再現性が低下することを報告している．本研究において 2nd サービス精度に変化が見られた要因の 1 つにサービスを打つ動作などの技術的な要因に変化があったのではないかと考えられる．

4.4.2.各測定項目とサービス精度の関連性の検討

握力，5 方向走，主観的運動強度および主観的疲労感と 2nd サービス精度との関連性を検討した結果，実験後のサービス精度と主観的運動強度に負の相関関係が認められた．実験中の対象者の主観的運動強度および主観的疲労感は上昇したが，握力と 5 方向走は実験前後で同水準であった．主観的運動強度は，直訳すれば知覚された努力・力発揮・労作の割合であり，心拍数や呼吸などの一つの生理学的な因子によって決定されるのではなく，中枢および末梢などの要因が複合的に統合されることによって決定されると考えられている（Borg, 1962）．このことから本研究における 2nd サービス精度は，対象者が感じた実験に対するきつさや努力感といった感覚と関連性があるのではないかと考えられた．小屋ほか（2018）は，2nd サービスは，体力要素よりも技術的要因が関連するのではないかと述べている．Hornery et al.（2007）は，試合時間の経過によりサービス動作（e.g. ボールを離す腕の位置およびボールの位置）の再現性が低下することを報告していることから，本研究において対象者が感じた実験に対するきつさや努力感といった感覚が，サービスを打つ動作などの技術的な要因に影響を与え，2nd サービス精度に変化が見られたのではないかと考えられる．また，Kamijo et al.（2004）は主観的運動強度と実行機能との間に逆 U 字型の関係性があることを報告している．すなわち，主観的運動強度が低いまたは高い

運動であれば認知機能が低下する．本研究の実験では，主観的運動強度が上昇し，直接，サービス動作に影響を与えたと考えることは難しい．そのため本研究では主観的運動強度の上昇した人は，実行機能の低下が起こり，サービス動作などに影響が現れた結果，2nd サービス精度が低かった可能性が考えられる．

4.5.要約

本研究では，健常な大学生テニス選手 8 名を対象に握力，5 方向走，主観的運動強度，主観的疲労感および 2nd サービス精度を測定し，2nd サービス精度との関連性を検討した．80 分の実験を通して，握力および 5 方向走の走行タイムに有意な変化は認められなかった．一方，主観的疲労感は上肢・下肢ともに実験後に有意に上昇した．2nd サービス精度との関連性を検討した結果，実験後の主観的運動強度と負の相関関係が認められた．本研究において対象者が感じた実験に対するきつさや努力感といった感覚が，サービスを打つ動作などの技術的な要因に影響を与えた結果，2nd サービス精度に変化が見られたのではないかと考えられる．

第 5 章　研究課題Ⅱ

大学生テニス選手における 2nd サービス精度と認知機能の関連性の検討

5.1.目的

テニス競技における重要な技術にサービスが挙げられる．1991 年から 2008 年までの 9144 試合の勝敗に関わる競技パフォーマンスを検討した研究では，勝利試合においてサービスエースや 1st Serve Point Won および 2nd Serve Point Won が負けた試合と比較し有意に多いことが報告されている （Ma et al., 2013）．また，グランドスラムにおけるダブルフォールトの本数は，年々減少している（Cross & Pollard, 2009）．このことから，テニス競技においてサービスの質（e.g. 速度および精度）は，試合に勝つために重要な競技パフォーマンスであることが考えられる．サービスは，選手が競技中に受ける生理・心理的要因に影響を受けることが確認されている．研究課題 I では，大学生テニス競技者を対象にサービス精度と握力，5 方向走および主観的評価（e.g.主観的疲労感および主観的運動強度）との関連性を検討したところ，体力要素とは関連性が認められず，主観的運動強度と負の相関関係が認められたことを報告している．Kamijo et al.（2004）は主観的運動強度と認知機能との間に逆 U 字型の関係性があることを報告しており，主観的運動強度が適度な運動であれば実行機能が向上し，主観的運動強度が低いまたは高い運動であれば実行機能が低下する．課題研究 I で

は，主観的運動強度の上昇した人は，実行機能の低下が起こり，サービス動作などに影響が現れた結果，2nd サービス精度が低かった可能性が考えられた．

サービスは自分のタイミングで打てるショットの 1 つであり, その行動は Self Pased（SP）と呼ばれ，野球のピッチング，ボウリング，ゴルフ，ランニングなどと同様のカテゴリーに分類される．一方，対戦相手の動きに影響を受ける動作を Externally Paced（EP）と呼ばれ，サッカー，バスケットボール，バレーボールが分類されている（Singer, 2000）．Jacobson and Matthaeus.（2014）は，大学生を対象とし EP の競技選手，SP の競技選手および非鍛練者の実行機能（e.g. 意思決定，問題解決および抑制機能）の特性を報告し，SP の競技選手は EP の競技選手および非鍛練者と比較して実行機能が重要であることが報告されており，体力・運動能力が高い人ほど，高い実行機能を有していることが報告されている．2nd サービスは，観客や対戦相手など外部の不必要な注意を抑制し，サービスボックスだけに注意を向ける必要があり, 2nd サービスの成功には抑制機能が重要な役割を担うと考えられる．そこで本研究では，大学生テニス選手を対象とし 2nd サービス精度と実行機能との関連性を検討することを目的とした．

5.2.方法

5.2.1.対象者

全日本学生テニス選手権の地域予選出場の健康な成人男性 11 名とした（平均年齢：23.1 歳，身長：175.5cm，体重：65.1kg）．対象者の競技レベルは，全日本学生テニス選手権大会に出場する選手とした．また， 被験者は全員右利きであった．対象者には，実験前日および当日に日常摂取している食事を摂取すること，実験の前日のアルコール摂取を避けること，実験の当日にカフェインおよび喫煙を避けるように指示した． 本研究は，北海道大学大学院教育学研究院倫理委員会の承認を得て，全ての対象者に本研究の目的，方法および実験の安全性について説明を行い，書面による研究参加の同意を得た上で実施した．

5.2.2.実験プロトコル

実験前に対象者は，試合時に実施するウォームアップを行った．実験の内容は，対象者 2 人 1 組となり 10 分間のグラウンドストロークラリー（ストレート方向とクロスコート方向にそれぞれ 5 分間），ボレー&ストロークを 20 分間（ボレーvs ストロークをそれぞれ 5 分間，ストレートおよびクロスの 2 方向実施）の合計 30 分間で実施した（図 5-1）．実験中は 10 分おきに水分摂取を認め，摂取量は自由とした．

5.2.3.測定項目

1）実行機能

実行機能は，ストループカラーワードテスト（Stroop Color and Word Test：SCWT）を用い評価した．SCWT とは，4 種類の色のカラーパッチを 48 個配列し（縦 8×横 6），対象者にその色名を左上から右に向かって順番に発音させる（統制条件）条件と，色名と表記の色の異なる語（例えば，青色で書かれた「あか」など）を 48 語配列し，その色名を発音させる（不一致条件）条件を提示し，その反応時間と回答の正誤を評価する課題である（図 5-2）．課題に対し対象者は，できるだけ正確にすばやく読み上げることを要求された（Stroop, 1935）．

本研究では，統制条件および不一致条件の課題に要した反応時間と誤答数を用いて，2 条件の測定値の差（干渉量）を評価に使用した．

2）主観的運動強度

実験における主観的運動強度（RPE）は, Borg Scale を使用し評価された（Borg, 1982）．「どのくらいきつかったか？」の問いに対し，15 項目の運動強度が提示されており，「非常に楽である」から「非常にきつい」までを回答するものであり，対象者が主観的に感じている「きつさ」を評価するものである．主観的運動強度は，実験後に測定された．

3）心拍数

対象者の心拍数は，Heart Trainer（Konami，Japan）を用いて測定した． 実験前後の心拍数を用いて予備心拍数（%HRR）により運動強度を算出した．

（計算式）

運動強度（%HRR）=（心拍数－安静時心拍数）÷（最大心拍数－安静時心拍数）×100

4）サービス精度の測定

実験前と実験後に，2nd サービスを 20 球打たせた．サービスの成功範囲は，対象者から見てデュースサイドのサービスボックスの右奥の隅に長さ 1.07m のシングルススティック 2 本で作成した正方形の枠とした（図 4-3 および 4-4）．対象者は，テスト前に 1 分間の練習を実施した．サービス精度の測定は，実験前後で実施され，テニス競技の経験が豊富な 2 人の検査者による目視で判定した．

5.2.4.統計処理

実験前後における各測定項目の変化は対応のある t 検定を使用した．サービス精度と実行機能および他の測定項目との関係をピアソンの積率相関係数を用いて評価した．有意水準は $p < 0.05$ とした．

5.3.結果

5.3.1.実験時の運動強度

対象者の主観的運動強度の平均値は，15.4 ± 1.8 であった．また，実験前後の心拍数から算出した%HRR の平均値は 61.0 ± 13.5 %であった．

5.3.2.SCWT の反応時間および誤答数

統制条件における実験前後の反応時間の平均は，それぞれ 22.83 ± 3.43 秒および 21.15 ± 3.31 秒であり，統制条件における反応時間は実験前後で有意な変化は認められなかった．不一致条件における実験前後の反応時間は，それぞれ 32.34 ± 5.14 秒および 31.56 ± 6.36 秒であった. 不一致条件における反応時間は，実験前後で有意な変化は認められなかった．また，実験前後における反応時間の干渉量の平均値は，それぞれ 9.51 ± 3.52 秒および 10.41 ± 3.93 秒であり，有意な変化は認められなかった．

統制条件における実験前後の誤答数の平均値は，それぞれ 1.81 ± 1.60 個および 2.36 ± 2.06 個であり，統制条件における誤答数は実験前後で有意な変化は認められなかった．不一致条件における実験前後の誤答数の平均値は，それぞれ 4.09 ± 2.25 個および 6.90 ± 3.53 個であり，不一致条件における誤答数は，実験前と比較し実験後に有意に増加した（$p < 0.01$）．また，実験前後にお

ける誤答数における干渉量の平均値は，それぞれ 2.27 ± 1.95 個および 4.54 ± 2.97 であり，実験前と比較し実験後に有意に増加した（$p < 0.05$）（表 5-1）．

5.3.3.サービス精度

実験前後のサービス精度の測定値は，それぞれ 6.00 ± 1.26 球および 5.36 ± 2.11 であり， 実験の前後で有意な差は認められなかった．しかし，10 名の対象者のうち 7 名が実験後にサービス精度が低下した（$t(10) = 0.78$，$d = 0.37$，$p = 0.45$）．

5.3.4.サービス精度と認知機能との関連性

実験後の主観的運動強度は実験後のサービス精度と負の相関傾向にあった（$r = -.57$, $p < .10$, 95%CI = -.87-.05）（図 5-3）．実験後における主観的運動強度と実験後における反応時間の干渉量（$r = 0.65$, $p < 0.05$, 95%CI = 0.09 ~ 0.90）（図 5-4）および誤答数の干渉量は正の相関関係を示した（$r = .89$，$p < 0.01$, 95%CI = 0.62 ~ 0.97）（図 5-4）．また，実験後の反応時間の干渉量と実験前後のサービス精度の変化率との間に負の相関関係が認められた（$r = -62$，$p < 0.05$, 95%CI = -0.89 ~ -0.03）（図 5-5）．

5.4.考察

本研究は，大学生テニス選手を対象とし実験時の 2nd サービス精度と認知機能との関連性を検討することを目的とした．結果は，実験の前後において SCWT の統制条件および不一致条件の反応時間および反応時間の干渉量に有意な変化は認められなかった． 誤答数は，実験前後における統制条件では有意な変化は認められなかった．しかし，不一致条件において実験前と比較し実験後に有意に増加した．また，誤答数の干渉量も同様に増加した．2nd サービス精度は実験前後において有意な変化は認められなかった．2nd サービス精度と認知機能の関連性を検討したところ，2nd サービス精度の変化率と実験後における反応時間の干渉量との間に負の相関関係が認められた．

5.4.1.実験時における実行機能の変化

統制条件および不一致条件における反応時間および反応時間の干渉量は，実験前後で有意な変化は認められなかった．反応時間に変化が認められなかった一つの要因として，誤答数の増加が考えられる．SCWT は課題遂行の反応時間と誤答数を評価に使用する．課題遂行の際は，出来るだけ素早く正確に回答するよう指示している．本研究では，反応時間を意識し，素早く回答した結果，誤答数が増加したことが考えられる．すなわち，出来るだけ素早く正確に回答

するよう指示した結果，正確な判断が出来ずに誤答数が増加したのではないかと考えられる．

一方で，誤答数および誤答数の干渉量は，不一致条件において実験後に有意な増加が認められた．Brown and Bray.（2015）は，運動強度の増加が SCWT の誤答数を増加させることを報告している．本研究も，運動を実施したことにより，誤答数の増加に繋がったと考えられる．また，主観的運動強度と反応時間の干渉量および誤答数の干渉量とで正の相関関係があったことから，実験を「きつく」感じていた者は実行機能が低かったことが考えられる．Kamijo et al.（2004）は，主観的運動強度と認知機能との間に逆 U 字型の関係性があることを報告しており，本研究でも実験により主観的運動強度の上昇を引き起こした結果，実行機能が低かったことが考えられた．この先行研究では，事象関連脳電位を使用し，高強度運動時に脳の活動が低かったことが報告されており，本実験においても同様のことが起こっていたのではないかと考えられる．また，本研究で使用した実行機能の反応時間および誤答数といった行動指標は，脳内での情報処理を推察しているに過ぎず，認知処理過程または反応処理過程のどちらに要因があるかを明確に分離することは難しい．

5.4.2.2nd サービス精度と認知機能の関連性

2nd サービス精度の実験前後における変化率と実験後の反応時間の干渉量は，負の相関関係が認められた．本研究の結果において，2nd サービス精度の変化率は，実験後の統制条件と比較して不一致条件での反応時間が遅延した人ほど低下したことを示している. この結果は, 2nd サービス精度の変化の要因の 1 つに，実行機能が影響を与えているのではないかと考えられた．一方で，2nd サービス精度と誤答数の干渉量において，関連性が認められなかった．これは，SCWT の課題の特性にあるのではないかと考えられる．反応時間および誤答数を個人間で見ていくと，反応時間は，11 人中 5 人が運動前と比較し運動後に速く反応できており 6 名の反応時間が遅延している．誤答数は，11 人中 2 名の誤答数が減少しており 11 名中 9 名の誤答数が増加しており，反応時間の方が個人間のばらつきがある．そのため，本研究では 2nd サービス精度と反応時間との関連性が認められたのではないかと考えた.

研究課題 I では，実験における主観的運動強度が高い選手ほど 2nd サービス精度が低かった．また，Davey et al.（2002）は，テニス競技特有の高強度間欠的な運動試験により，疲労困憊になったときのストローク精度が 69%低下したこと，Lyons et al.（2013）は，同様の試験（RPE = 18）により，ストローク精度が 40%減少することを報告しており, 主観的運動強度の上昇に伴う競技パフォーマ

ンスの低下が報告されている．これらの競技パフォーマンスが低下した要因は，実行機能の低下が関連しているのではないかと考えられる．Ishihara et al.（2018）は，大学生テニス選手を対象に模擬試合を実施させ，試合時のスタッツと実行機能の関連性を検討しており，1st serve point won，2nd Serve point won およびショットミスと関連性があることを報告している．Ishihara et al.（2018）は，模擬試合における 2nd Serve point won を指標とし実行機能との関連性を示しているが，2nd Serve point won は，2nd サービスから始まったポイントの取得率を評価していて，2nd サービスの技術単独との関連性ではなく，2nd サービス後のストロークも含んだ関連性といえる．本研究は，2nd サービス精度そのものに焦点を当て実行機能との関連性を評価したものといえる．Hornery et al.（2007）は，試合時間の経過によりサービス動作（e.g. ボールを離す腕の位置およびボールの位置）の再現性が低下することを報告しており，本研究でも，主観的運動強度の増加により，実行機能が低下したため，サービスの動作といった，反応処理過程（e.g. サービス動作）に影響が現れたのかもしれない．

本研究では，実行機能が低かった対象者は，2nd サービスのトスを上げる動作が打球するにあたって適切だったかどうか，トスの位置が打球するにあたって適切なのかどうかといった情報の選択が，運動により適切に判断が困難になった結果，2nd サービス精度の低下に繋がってしまったのではないかと考えた．

5.5.要約

本研究は，健常な大学生テニス選手 11 名を対象とし，2nd サービス精度と認知機能との関連性の検討することを目的とした．結果は，実験の前後において SCWT の統制条件および不一致条件の反応時間および反応時間の干渉量に有意な変化は認められなかった．誤答数は，実験前後における統制条件では有意な変化は認められなかった．しかし，不一致条件において実験前と比較し実験後に有意に増加した（$p < 0.01$）. また, 誤答数の干渉量も同様に増加した（$p < 0.05$）. 2nd サービス精度は，実験前後において有意な変化は認められなかった．2nd サービス精度と認知機能の関連性を検討したところ, 2nd サービス精度の変化率と実験後における反応時間の干渉量に負の相関関係が認められた．本研究では，主観的運動強度が高かった対象者において，実行機能が低かった．その実行機能が低かった対象者は, 2nd サービスのトスを上げる動作が打球するにあたって適切だったかどうか，トスの位置が打球するにあたって適切なのかどうかといった情報の選択が，運動により適切に判断が困難になった結果，2nd サービス精度の低下に繋がってしまったのではないかと考えた.

第 6 章　研究課題Ⅲ

大学生テニス選手における水分損失率と 2nd サービス精度の関連性の検討

6.1.目的

運動と水分損失に関する先行研究を概観すると，運動における一過性の体重の減少は，水分損失率として評価され，体水分の損失が増加すると運動能力，競技特有のパフォーマンスおよび認知機能が低下することが報告されている．また，運動能力および競技特有のパフォーマンスは，1 - 4%の水分損失率に影響を受けていることが報告されている．Armstrong et al.（1985）は，水分損失により 1500，5000 および 10000 m といった長距離における走行タイムが遅延したこと，Davis et al.（2015）は 30m 走を間欠的に 3 試行した実験において，体水分が適正に保たれた条件と比較して，3%の水分損失をしていた条件の方が有意に走行タイムが遅延したことを報告し，長距離および短距離において水分損失により競技パフォーマンスに影響を与えることが考えられる．また，Baker et al.（2007）はバスケットボール競技において 1 - 4%の水分損失がシュートの正確性を低下させることを，Smith et al.（2012）はゴルフ競技におけるショットの飛距離や正確性が約 1%で低下することを報告しており，競技特有の技術においても体水分の損失による影響が報告されている．近年，Cian et al.（2000）は，体水分が正常な状態と比較し 2.8%の水分損失により短期記憶が低下したこと，Ganio et al.

（2011）は，1%の水分損失によりワーキングメモリの応答が遅延したことを報告しており，実行機能も水分損失により影響を受けていると考えられる．

テニス競技において平均気温が 30.3℃で実施された試合では，試合開始から 30 分までに深部体温が 39℃近くまで上昇すること，深部体温の上昇は発汗率の上昇を引き起こすことが報告（Bergeron et al., 2007; Gagnon et al., 2012）されており，運動を実施することは，体温が上昇し水分損失が生じやすくなることが考えられる．女性のプロテニス選手は，平均気温 30.3℃の試合において 1 時間に約 2.0 L の発汗量があった事，男性テニス選手では，平均気温 31.9℃の試合において 1 時間半で約 1.5 L，4 時間で約 4.0 L の体水分の損失が生じていることが報告されており（Tippet et al., 2011; Bergeron et al., 2014），テニス競技は，水分損失を引き起こす可能性が非常に高い競技だと考えられ，先行研究同様に競技パフォーマンスに影響を与えるのではないかと考えられる．

テニス競技における重要な技術の一つにサービスが挙げられる．1991 年から 2008 年までの 9144 試合を選手の身体特性や競技パフォーマンスに注目し検討した研究では，勝利試合はサービスエースや 1st Serve Point Won および 2nd Serve Point Won が負けた試合と比較し有意に多いことが報告されている（Ma et al., 2013）．また，近年のグランドスラム大会は，ダブルフォールトの本数が減少してきていること（Cross & Pollard, 2009），Reid et al.（2010）は，ATP ランキ

ングの TOP100 位の選手を対象に，ATP ランキングと ATP のウェブサイトから入手できる選手の競技パフォーマンス（e.g. 1st Serve Point Won，2nd Serve Point Won）との関連性を検討した結果，2nd Serve Point Won の確率が高い選手ほど，ATP ランキングが高いことを報告している．このことから，2nd サービスの精度は，試合で勝つための 1 つの要因ではないかと考えられる．

テニス競技は，試合中または実験によりグラウンドストロークやサービスの正確性およびサービス動作（e.g. トスの高さ，位置）の再現性の低下を引き起こすことが報告されている（Davey et al., 2002; Davey et al., 2003; Horney et al., 2007; Kuroda et al., 2017）．しかし，これら競技パフォーマンスの低下がどのような要因で起こったのかは不明である．テニス競技において，アジリティー，筋力および有酸素性能力といった体力・運動能力が競技成績に影響を与えることは多く報告されている（小屋ほか, 2014; Kuroda et al., 2015; Roetert et al., 1992）．また，認知機能も競技パフォーマンスにとって重要な要因であることが示唆されており（Alexandru et al., 2014; Overney et al., 2008），テニス競技におけるパフォーマンスは，運動能力および認知能力の両方が体水分の損失の影響を受けている可能性がある．また，体力・運動能力および認知機能は，1%の体重減少でも選手の全身に悪影響を与えることが考えられる（Hillyer et al., 2015）．しかし，これらの先行研究は，水分摂取量を制限して実験を実施しているものがほとん

どである．そのため，普段の練習や試合において自由に水分を摂取している状態での水分損失が競技パフォーマンスへ影響を与えているかは不明であり，1%未満での水分損失も競技パフォーマンスへ影響を与えている可能性も考えられる．

そこで本研究は，テニス競技における水分損失率と 2nd サービス精度との関連性を検討することを目的とした．

6.2.方法

6.2.1.対象者

対象者は，全日本学生テニス選手権の地域予選出場の健康な成人男性 12 名とした（年齢：20.8 ± 1.9 歳，身長：173.6 ± 7.4cm，体重：67.8 ± 8.2kg）．本研究は，北海道大学大学院教育学研究院倫理委員会の承認を得て，全ての対象者に本研究の目的，方法および実験の安全性について説明を行い，書面による研究参加の同意を得た上で実施した．

6.2.2.実験プロトコル

対象者は，30 分間の実験を実施した．実験内容は，ストロークラリーを 10 分間（ストレートおよびクロスラリーがぞれぞれ 5 分間），ボレー&ストロークを 20 分間（役割としてボレーおよびストロークをそれぞれ 5 分間をストレートおよびクロスにぞれぞれ 5 分間）の順序で実施された（図 6-1）．ウォーミングア

ップは，ダイナミックストレッチ，ショートラリー，ロングラリー，サービス練習の順序で実施された．実験中は 10 分おきに水分摂取を認めたが，摂取量は自由とした．本実験における，測定はテニス実験の前後に実施した．

対象者には，実験前の体重測定後に排尿することがないよう事前に済ませておくよう指示をした．

実験に当たり，環境温度の変化が大きく起こらないように室内で実施した．実験前後の環境温度および湿度はそれぞれ 23.0 ± 0.8℃, 36.5 ± 7.8%および 21.2 ± 1.3℃，41.6 ± 6.7%だった．

6.2.3.測定項目

1）選手の体重

体組成計（TANITA 社）を使用し，選手の実験直前および直後に体重を測定した．今回の測定では，実験前後の体重を測定する間または，実験途中に排尿をした選手はいなかった．本研究では，実験前後の体重の変化から水分損失率を下記の計算式にて算出し評価をした．

（計算式）水分損失率 =（実験前の体重-実験後の体重）÷ 実験前の体重×100

2）実験時の運動強度の評価

本研究では，対象者の運動強度は心拍数計（Polar 社）を使用し，実験時の平均心拍数を用いて評価した．

3）実験における主観的運動強度の評価

対象者の実験における主観的運動強度（以下 RPE）は Borg Scale を使用した（Borg, 1982）．「どのくらいきつかったか？」の問いに対し，15 項目の運動強度が提示されており，「非常に楽である」から「非常にきつい」までを回答するものである．これは，身体活動中に経験する努力感や疲労の主観的な指標と定義され，対象者が主観的に感じている「きつさ」を評価するものである．主観的運動強度は，対象者のウォーミングアップ後および実験後に測定実施者の問診により聞き出した．

4）サービス精度の測定

実験開始前と終了直後に，試合を想定した 2nd サービスを 20 球打たせた．サービスの成功範囲は，対象者から見てデュースサイドのサービスボックスの右奥の隅に長さ 1.07m のシングルススティック 2 本で作成した正方形の枠とした（図 4-3 および 4-4）．サービスの成功球数は，テニス競技の経験が豊富な 2 人の検査者による目視で判定した．

6.2.4.統計処理

選手の試合直前および直後の体重の比較は，対応のある t 検定を使用した．水分損失率と各測定項目同士の関連性を検討するためにピアソンの積率相関係数

を用い評価した．また，水分損失率とサービス精度の関連性を，「実験前のサービス精度」を統制変数においた偏相関分析で検討した．これらにおける有意水準は $p < 0.05$ とした．

6.3.結果

6.3.1.実験前後における体重変化および水分損失率

対象者の実験前後の平均体重はそれぞれ 67.8 ± 8.2kg，67.2 ± 8.2kg であり，実験前と比較すると有意に体重減少を引き起こしていた（$p < 0.01$）．また，水分損失率は，0.8 ± 0.4%であった．

6.3.2.実験における心拍数の変化と主観的運動強度

対象者の実験直前の平均心拍数は 72.0 ± 8.4 bpm であり，実験直後の平均心拍数は 165.5 ± 16.1 bpm だった. 実験中の平均心拍数は 154.5 ± 15.5 bpm であった．

対象者のウォーミングアップ後の主観的運動強度の平均値は，10.4 ± 1.4 であった．また，実験後は，15.0 ± 2.0 であった．

6.3.3.サービス精度の変化

実験前のサービス成功球数の平均値は 4.9 ± 1.8 球であり，実験後の平均値は 4.4 ± 1.5 球であった（図 6-2）．実験前後におけるサービス精度に有意な差は認められなかった．

6.3.4.水分損失率と各測定項目の関連性

水分損失率と各測定項目の相関関係は表 6-1 に示した. 水分損失率と有意に関連性のあった項目として，実験中の平均心拍数（$p < 0.05$，$r = 0.67$），実験後のサービス精度（$p < 0.05$，$r = -0.61$）であった．サービス精度との関連性を検討する場合，実験前のサービス精度が極端に低い事により，実験後のサービス精度が実験前より低下したとしても変化率に差が出なくなってしまう可能性が考えられること，実験前のサービス精度とサービス精度の変化率の関連性に有意傾向（$p < 0.1$）が認められたことから，実験前のサービス精度を統制変数においたサービス精度の低下率と水分損失率を偏相関分析した結果，有意に負の相関関係を示した（partial $r = 0.70$，$p < 0.05$）（図 6-3）.

6.4.考察

本研究は，全日本学生テニス選手権の地域予選出場の健康な成人男性 12 名を対象とし，30 分間のテニス実験を実施した．測定項目は実験前後の体重，実験時の心拍数，主観的運動強度とし，実験におけるサービス精度の変化および関連性を検討した．その結果，実験前の平均体重は 67.8 ± 8.2kg，試合後の平均体重は 67.2 ± 8.2kg であり, 実験前と比較する有意に体重減少を引き起こしており，水分損失率は，0.8 ± 0.4%であった．実験によるサービス精度の変化は認められ

なかったが，水分損失率と 2nd サービス精度との間に負の相関関係が認められた．

6.4.1.実験における活動強度および体重の変化

本研究では，実験前後で約 0.6kg の体重減少を引き起こし，水分損失率は，0.8 ± 0.4%であった．平均気温 30 度で実施されたテニス競技の水分損失率は，約 1.2-2.6%程度と報告されている（Tippet et al., 2011; Bergeron et al., 2014; Gomes et al., 2011）が，本研究の水分損失率は約 0.8%であり，競技パフォーマンスへの影響を検討した先行研究で示されている脱水状況には到達していなかった（Armstrong et al., 1985; Davis et al., 2015; Baker et al., 2007; Smith et al., 2012）．

本実験中の平均心拍数は，154.5 ± 15.5 bpm であり，先行研究で報告されている試合時の平均心拍数の 140 - 160bpm（Fernandez et al. 2006）と同水準の心拍数が測定された．しかし，テニスの競技時間は，1 試合平均 1.5 時間と報告されており（Kovacs, 2007），本研究の実験時間は 1 試合と比較しても短い．そのため，水分損失率が先行研究よりも少なかったと考えられる．また，本研究の実験の意図として対象者への水分摂取量を自由とした．本実験では，選手の意思に基づき各々自由に水分摂取をさせたが，体内の水分損失が起こっていたことから，対象者は，日常の練習において水分摂取量が少ない可能性が考えられた．

6.4.2.水分損失率とサービス精度の関連性

本研究において水分損失率とサービス精度には負の相関関係が認められた．水分損失率と競技特有のパフォーマンスの関連性について，いくつかの報告がなされている．中・長・短距離走において，走行タイムが遅延すること（Armstrong et al., 1985; Davis et al., 2015），バスケットボール競技においてシュートの正確性が低下すること（Baker et al., 2007）が報告されているが，同様の研究でテニス競技特有の技術（e.g. サービス）との関連性を検討した報告はない．本研究は，水分損失率と 2nd サービス精度との関連性を報告した数少ない論文だといえる．Horney et al.（2007）の研究では，試合時間の経過に伴いサービス動作（e.g. トスの高さ，位置）に悪影響を及ぼすことを報告している．研究課題Ⅱにおいて，実行機能が低かった対象者は，2nd サービスのトスを上げる動作が打球するにあたって適切だったかどうか，トスの位置が打球するにあたって適切なのかどうかといった情報の選択が，運動により適切に判断が困難になった結果，2nd サービス精度の低下に繋がってしまったのではないかと考えられた．先行研究では，水分損失により実行機能が低下した（Cian et al., 2001; D'Anci et al., 2006）という報告があることから，本研究は，水分損失により，実行機能が低下した選手は（Cian et al., 2001; D'Anci et al., 2006），サービス動作に悪影響を受けてし

まい（Horney et al., 2007）結果，2nd サービス精度の低下に繋がってしまうのかもしれない．

60 分以上の有酸素性運動（e.g. 砂漠での歩行，トレッドミル走）と水分損失に関するレビューでは，高温環境下（30℃以上）では，2-7%の水分損失で 7-60%パフォーマンス（e.g. 疲労困憊までの時間，歩行）が低下することが報告されている．一方，適温環境下（20-22℃）での運動に関しては 1-2%の水分損失では，90 分以下の有酸素性運動に影響は無いが，90 分以上継続するとパフォーマンスが低下することを報告している（Shirreffs, 2005）．本研究では，平均室温が 22℃と適温環境下で 30 分の実験を実施した．先行研究と同様に，本実験前後で 2nd サービス精度に変化が認められなかった．個別に見ていくと 2nd サービス精度が減少した選手は 12 名のうち 7 名で，その 2nd サービス精度の減少率は平均値で 33%を示している．適温環境下では，水分損失により影響を受けやすい選手と受けにくい選手が混在し，高温環境下では，おおむねどの選手でも水分損失に影響を受けるのではないかと考えられる．

国際オリンピック委員会の声明では，脱水が体重の 2%以下に収まるよう給水することを推奨している（International Olympic Committee., 2011）．本研究の結果は，先行研究で報告されるような水分損失ではないにもかかわらず，サービス精度との関連性が認められた．また，1%程度の脱水で実行機能の低下を引き

起こすという報告（D'Anci et al., 2006）や，研究課題Ⅱにおける 2nd サービス精度と実行機能の関連性から考えると，1%程度でも水分損失が競技パフォーマンスに影響を及ぼしているという可能性が考えられるのではないだろうか.

6.5.要約

本研究は，全日本学生テニス選手権の地域予選出場の健康な成人男性 12 名を対象とし，水分損失と 2nd サービス精度との関連性を検討した．測定項目は実験前後の体重，実験時の心拍数，主観的運動強度とし，実験におけるサービス精度の変化および関連性を検討した. その結果, 実験前の平均体重は 67.8 ± 8.2kg, 試合後の平均体重は 67.2 ± 8.2kg であり，実験前と比較する有意に体重減少を引き起こしており，水分損失率は，0.8 ± 0.4%であった．実験によるサービス精度の変化は認められなかったが，水分損失率とサービス精度に負の相関関係が認められた．水分損失により，2nd サービス精度の低下に繋がってしまう可能性が考えられた.

第 7 章　総合考察

本研究は，2nd サービスの正確性に焦点を当て，2nd サービス精度と体力・運動能力，実行機能および水分損失との関連性の検討を目的としている．文献研究から，1st サービスの速度に関する研究は多くある一方で，Reid et al.（2010）は，2nd Serve Point Won の確率が高い選手ほど，ATP ランキングが高いことを報告しており，2nd サービスの重要性が考えられる．一般的に，2nd サービスは，正確性に重点を置き打球するが，2nd サービス精度と体力・運動能力との関連性を検討した研究は少ない．近年テニス競技の試合における 2nd Serves Point Won は，実行機能との関連性があることが報告されており（石原ほか，2016; Ishihara et al., 2018），2nd サービス精度と実行機能との間に関連性があるのではないかと考えた．また，スポーツ競技のように身体を動かす場合，一般的に水分損失下で実施されていることが報告されており（Maughan & Shirreffs, 2010; Osterberg et al., 2009），2nd サービス精度においても影響を受けるのではないかと考えた．そこで本研究では，先行研究を踏まえてテニス競技の重要な技術として 2nd サービス精度に焦点を当て，2nd サービス精度と体力・運動能力，実行機能および水分損失との関連性を検討することを目的とした．

7.1.本研究で明らかとなった点

サービスパフォーマンス（e.g. スピードおよび精度）と身体特性または運動能力との関連性はいくつか検討されているが，そのほとんどが1stサービスに関するものであり，2ndサービスに焦点を当てたものは少ない．緒言でも述べたように，現在のテニス競技における2ndサービスは，以前よりも高い速度および精度が必要とされている（図1）．研究課題Ⅰでは，2ndサービス精度と主観的運動強度に負の相関関係が認められ，2ndサービス精度は，対象者が実験で感じた「きつさ」や「努力感」といった感覚との関連性が認められた．このことから，本研究において2ndサービス精度に変化が見られた要因の1つに，2ndサービスを打つ動作などの技術的な要因が本実験による「きつさ」や「努力感」といった感覚の変化に影響を受けたのではないかと考えられる．

競技パフォーマンスを決定する要因の1つとして認知機能が上げられ，特にスポーツ競技において，競技パフォーマンスと関連が深い実行機能との関連性を検討した先行研究が増えている（Overney et al., 2008; Alexandru et al., 2014; 石原ほか., 2016;石原ほか., 2017, Ishihara et al., 2018）．研究課題Ⅰでは，主観的運動強度と2ndサービス精度との間に負の相関関係が認められた．Kamijo et al.（2004）の研究では，主観的運動強度と実行機能との間に逆U字型の関係性があることを報告している．そこで研究課題Ⅱでは，研究課題Ⅰにおける2ndサービス精度と

主観的運動強度との関連性から，2ndサービス精度が実行機能と関連性があるのかを検討した結果，2ndサービス精度の変化率と実験後の課題の反応時間の干渉量との間に負の関連性が認められた．実行機能が低かった対象者は，2ndサービス精度の低下が生じていた．研究課題Ⅱから，2ndサービスを打球する際に，2ndサービスの動作（e.g.トスを上げる動作やトスの位置）が適切なのかどうか，といった情報処理が実験後で困難だった対象者は，2ndサービス精度の低下が生じたのではないかと考えられた．

競技スポーツにおける競技パフォーマンス低下の要因の1つとして水分損失が挙げられる．そこで研究課題Ⅲでは，2ndサービス精度が水分損失の影響を受けるかを検討した．その結果，水分損失率と2ndサービス精度に負の相関関係が認められ，水分損失の上昇に伴い2ndサービス精度は低下していくことが示唆された．先行研究において，体力・運動能力および実行機能は，体内の水分損失により低下することが報告されている．研究課題Ⅱにおいて，実行機能と2ndサービス精度との間に関連性が認められたこと，研究課題Ⅲにおいて，水分損失率と2ndサービス精度に負の相関関係が認められたことから，水分損失により，実行機能が低下し，2ndサービス精度に影響を与えたのではないかと考えられる．また，本研究は，練習や試合のように対象者自身が自由に水分摂取できるようにしたため，実験による水分損失は1%未満であった．その様な中でも2ndサービ

ス精度と水分損失率に関連性が認められた事は, 1%程度の水分損失でも2ndサービス精度に影響を与える可能性があることが考えられた.

以上の知見から2ndサービス精度は，主観的運動強度および実行機能と関連性があること，水分損失により2ndサービス精度を低下させる可能性が示された. このことから，実行機能の低下を防ぐまたは発達させるような働きかけや，水分損失を防ぐ水分補給計画を考えることが，2ndサービス精度の低下を防ぐかもしれない.

7.2.今後の課題

研究課題ⅠおよびⅡにおいて，2nd サービス精度と主観的運動強度および 2nd サービス精度の変化に実行機能との関連性が示唆された．この実行機能の検査は，認知課題を実施した際の反応時間や誤答数などの行動指標を用いるのが一般的である．しかし，これらの指標は脳内で進行する処理過程を推察しているに過ぎない．このため，認知処理課題の要因と反応処理過程の要因を明確に分離することができない．近年では，事象関連脳電位を用い，認知および脳機能を直接評価する研究が行われている．今後は 2nd サービス精度および実行機能の測定とともに直接評価が可能なデバイスを用い, 2nd サービス精度と実行機能の関連性について検討する必要があると思われる．また，2nd サービス精度の低

下の要因としてサービス動作等の指標もビデオカメラ撮像による動作解析を実施し関連性を示す必要があると考える．

研究課題Ⅲでは，実験後の2ndサービス精度および変化率と水分損失率との間に関連性が示唆された．水分損失により競技パフォーマンスが低下することが報告されている．例えば，Baker et al.（2007）はバスケットボール競技において1 - 4%の水分損失がシュートの正確性を低下させることを報告している．本研究では，1%程度の水分損失と2ndサービス精度との関連性を示唆したが，それ以降の水分損失では検討されていない．よって本研究以上の水分損失を検討する場合は，水分摂取を制限した研究を実施する必要がある．上記の先行研究は，専門家の指導のもと気象実験室にてトレッドミルでの歩行，入浴およびサウナなどで水分損失をコントロールしながら実施している．今後は，2ndサービス精度と水分損失との関連性を同様の手順により検討する必要があると思われる．また，その際にも実行機能およびサービス動作等の測定も同時に実施し検討する必要があると思われる．

7.3.本研究の成果のテニス競技への応用

本研究において，2ndサービス精度と主観的運動強度，実行機能および水分損失との関連性が示唆された．本研究における2ndサービス精度と関連性のあった

指標は運動中に変化をするものである．よって，運動中または試合中に主観的運動強度の上昇，実行機能および水分損失率の低下を最大限に抑制することができれば，2ndサービス精度を維持できるのではないかと考えられる．また，テニス競技では，ジュニア選手（10-12歳程度）の指導に国際テニス連盟（ITF）が推奨するプログラム「PLAY＋STAY」（プレー・アンド・ステイ）が推奨されている．「PLAY + STAY」は，従来の技術練習中心の練習と比較し実行機能を向上させることが報告されている（Ishihara et al., 2017）．この研究は，コーチからのボール出しを打球する一般的な技術練習中心の練習と比較し，「PLAY + STAY」は，試合や相手とポイントを取り合う練習が多いため，ボールを打つ時間が多くなること，相手からポイントを取る戦術を考える時間が多くなることが，実行機能の向上に貢献している可能性があると報告されている．「PLAY + STAY」での指導法は，実行機能の向上または強化されることにより，2ndサービス精度の向上に繋がるかもしれない．また，試合中や練習中での水分摂取やプレクーリングなどにより，2ndサービス精度の低下を防ぐことが可能かもしれない．一般的には，競技中における一回の水分摂取量は，15分おきに100~200mlが適量であると考えられている．Tippet et al.（2011）やBergeron et al.（2014）の研究では，試合の進行に伴い，水分損失が増加している．試合中に水分摂取は制限していないので，水分摂取量が損失量に追いついていないと考えられる．

テニス競技では，2ゲーム毎の90秒間の休憩が設けられているが，その間に100-200mlの水分摂取量あと水分損失量の方が多くなる可能性が考えられる．そのため，2ゲームごとの水分補給だけでは水分補給が補えないことが予想される．本研究は，1%未満の水分損失においても競技パフォーマンス低下を誘発する可能性があるのではないかと考えられ，テニス競技において，水分損失を考慮したコンディショニング戦略（e.g. プレクーリングや試合中の身体冷却）は，2ndサービス精度の維持または低下を最大限に抑制する方法の一つとして考えられる．

7.4.本研究の結論

Ⅰ． 2ndサービス精度は，体力・運動能力（e.g. 握力および5方向走）よりも主観的運動強度との関連性が考えられた．

Ⅱ． 2ndサービス精度は，実行機能と関連性があるのではないかと考えられた．

Ⅲ． 2ndサービス精度は，実験前後における体重の変化率で評価される水分損失率と関連性があるのではないかと考えられた．

謝辞

本論文は，北海道大学大学院教育学院健康教育論講座に在籍中に行った研究の成果を学位論文としてまとめたものです.

本研究を進めるにあたり，直接ご指導いただいた北海道大学大学院教育学研究院教授　水野眞佐夫先生に深謝致します．また，本稿の執筆に当たり，北海道大学大学院教育学研究院准教授　柚木孝敬先生，北翔大学生涯スポーツ学研究科教授　沖田孝一先生，鹿屋体育大学スポーツ・武道実践科学系准教授　髙橋仁大先生には副査として多大なご助言をいただきました．皆様，ご多忙の中ご指導ならびにご助言頂きましたことに深謝致します.

北海道大学大学院教育学研究院健康教育論講座体力科学の皆様，特に，酪農学園大学農食環境学群　柴田啓介先生，玉川大学脳科学研究所　石原暢先生，日本体育大学体育学部スポーツトレーニングセンター　苫米地伸泰先生には，研究における多くの時間，様々な状況および感情を共有していただき感謝致します．本研究の対象者および施設提供としてご協力いただいた，北海道学生テニス選手の皆様，宮の森スポーツ倶楽部の皆様には，ご多忙の中にも関わらず，お引き受け頂きましたことに深く感謝いたします.

最後になりますが，長年の学生生活を支えてくれた家族に感謝いたします．本当にありがとうございました.

参考文献

Abián-Vicén, J., Del Coso, J., González-Millán, C., Salinero, J. J., & Abián, P.（2012）. Analysis of dehydration and strength in elite badminton players. *PloS one*, *7*（5）, e37821.

Alexandru, M. A., Ruxandra, R., & Carmen, G. G. （2014）. Predictors of tennis performance of junior players. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 116*, 5169-5174.

American College of Sports Medicine （2007）. American College of Sports Medicine position stand: Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 39*, 377–390.

Antúnez, R., Hernández, F., García, J., Vaíllo, R., & Arroyo, J. (2012). Relationship between motor variability, accuracy, and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics, 33*, 45-53.

Armstrong, L. E., Costill, D. L., & Fink, W. J. （1985）. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *17*（4）, 456-461.

Baker, L. B., Dougherty, K. A., Chow, M., & Kenney, W. L. （2007）. Progressive dehydration causes a progressive decline in basketball skill performance. *Medicine and science in sports and exercise*, *39*（7）, 1114-1123.

Bergeron, M. F., McLeod, K. S., & Coyle, J. F. （2007）. Core body temperature during competition in the heat: National Boys' 14's Junior Tennis Championships. *British journal of sports medicine*, *41*:779–783

Bergeron, M. F. （2014）. Hydration and thermal strain during tennis in the heat. *British journal of sports medicine*, *48*（Suppl 1）, i12-i17.

Borg, G. A.（1982）. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise*, *14*（5）, 377-381.

Brown, D. M., & Bray, S. R. （2015）. Isometric exercise and cognitive function: an investigation of acute dose–response effects during submaximal fatiguing contractions. *Journal of sports sciences*, *33*（5）, 487-497.

Carrasco, A. J. （2008）. Effects of exercise-induced dehydration on cognitive ability, muscular endurance and surfing performance: a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Sport and Exercise Science, *Massey University, Auckland, New Zealand (Doctoral dissertation, Massey University)*.

Chow, J., Carlton, L., Lim, Y. T., Chae, W. S., Shim, J. H., Kuenster, A., & Kokubun, K. （2003）. Comparing the pre-and post-impact ball and racquet kinematics of elite tennis players' first and second serves: a preliminary study. *Journal of sports sciences,* 21（7）, 529-537.

Cian, C., Barraud, P. A., Melin, B., & Raphel, C. （2001）. Effects of fluid ingestion on cognitive function after heat stress or exercise-induced dehydration. *International Journal of Psychophysiology*, *42*（3）, 243-251.

Cheuvront, S. N., Carter, R. I. I. I., & Sawka, M. N. （2003）. Fluid balance and endurance exercise performance. *Current Sports Medicine Reports*, *2*（4）, 202-208.

Cross, R., and Pollard, G. （2009）. Grand Slam men's singles tennis 1991-2009 serve speeds and other related data. *Coaching & Sport Science Review*, *16*（19）: 8-10.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology, 64*, 135-168.

D'Anci, K. E., Constant, F., and Rosenberg, I. H. （2006） Hydration and cognitive function in children. *Nutrtion. Review, 64*（10）: 457-464.

Davey, P. R., Thorpe, R. D., & Williams, C. （2002）. Fatigue decreases skilled tennis performance. *Journal of sports sciences*, *20*（4）, 311-318.

Davey, P. R., Thorpe, R. D., & Williams, C. （2003）. Simulated tennis matchplay in a controlled environment. *Journal of sports sciences*, *21*（6）, 459-467.

Davis, J. K., Laurent, C. M., Allen, K. E., Green, J. M., Stolworthy, N. I., Welch, T. R., & Nevett, M. E. （2015）. Influence of dehydration on intermittent sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*（9）, 2586-2593.

Eygendaal, D, Rahussen, FT, Diercks, RL. （2007）. Biomechanics of the elbow joint in tennis players and relation to pathology. *British journal of sports medicine*, *41*: 820-823.

Fernandez, J., Alexander Ulbricht., &Alexander Ferrauti. （2014）. Fitness testing of tennis players: How valuable is it? *British journal of sports medicine*, *48*, 22-31.

Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Pluim, B. M. （2006）. Intensity of tennis match play. *British Journal of Sports Medicine, 40*（5）, 387–391.

Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., & Mendez-Villanueva, A. （2009）. A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play. *Strength & Conditioning Journal, 31*, 15-26.

Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Fernandez-Garcia, B., and Mendez-Villanueva, A. （2008）. Match activity and physiological load during a clay-court tennis tournament in elite female players. *Journal of Sports Sciences, 26*（14）: 1589-1595.

Gagnon, D., Crandall, C. G., and Kenny, G. P. （2012）. Sex differences in postsynaptic sweating and cutaneous vasodilation. *Journal of Applied Physiology*, *114*（3）: 394-401.

Ganio, M. S., Armstrong, L. E., Casa, D. J., McDermott, B. P., Lee, E. C., Yamamoto, L. M., ... & Chevillotte, E. （2011）. Mild dehydration impairs cognitive performance and mood of men. *British Journal of Nutrition, 106*（10）, 1535-1543.

Girard, O, Lattie,r G, Micallef, JP, Millet, G, P. （2006）. Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. *British journal of sports medicine, 40*: 521-526.

Gomes, R. V., Coutts, A. J., Viveiros, L., & Aoki, M. S. （2011）. Physiological demands of match-play in elite tennis: A case study. *European Journal of Sport Science*, *11*（2）, 105-109.

Gopinathan, P. M., Pichan, G., & Sharma, V. M. （1988）. Role of dehydration in heat stress-induced variations in mental performance. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, *43*（1）, 15-17.

Groppel, J. L. （1992）. High tech tennis. Leisure Press.

Guillot, A., Desliens, S., Rouyer, C., & Rogowski, I. （2013）. Motor imagery and tennis serve performance: the external focus efficacy. *Journal of sports science & medicine, 12*（2）, 332-338.

Hayes, M. J., Spits, D. R., Watts, D. G., & Kelly, V. G. (2018). The Relationship Between Tennis Serve Velocity and Select Performance Measures. *Journal of strength and conditioning research. Publish Ahead of Print.*

Hennig, E. M. （2007）. Influence of racket properties on injuries and performance in tennis. *Exercise and sport sciences reviews, 35*（2）, 62-66.

Hillyer, M., Menon, K., & Singh, R. （2015）. The effects of dehydration on skill-based performance. *International Journal of Sports Science, 5*（3）, 99-107.

Hornery, D. J., Farrow, D., Mujika, I., & Young, W. （2007）. An integrated physiological and performance profile of professional tennis. *British journal of sports medicin, 41*（8）: 531-536.

International Olympic Committee. （2011）. IOC consensus statement on sports nutrition 2010. *Journal of Sports Sciencies, 29*（Suppl 1）: S3-S4.

石原暢，黒田裕太，川上雄一，水野眞佐夫. （2016）. エリート女子ジュニアテニスプレーヤーにおけるシングルスゲーム時の認知機能と競技パフォーマンスの関係. *スポーツパフォーマンス研究, 8*: 229-238.

石原暢，黒田裕太，水野眞佐夫．（2017）．青年テニスプレーヤーにおけるシングルスゲーム時の認知機能と競技パフォーマンスの関係．*テニスの科学，25*: 39-53.

Ishihara, T., Kobayashi, T., Kuroda, Y., & Mizuno, M. （2018）. Relationship between attention shifting and tennis performance during singles matches. *The Journal of sports medicine and physical fitness, 58*（12）:1883-1888

Ishihara, T., Sugasawa, S., Matsuda, Y., & Mizuno, M. （2017）. The beneficial effects of game-based exercise using age-appropriate tennis lessons on the executive functions of 6–12-year-old children. *Neuroscience letters, 642*, 97-101.

Jacobson, J., & Matthaeus, L. （2014）. Athletics and executive functioning: How athletic participation and sport type correlate with cognitive performance. *Psychology of Sport and Exercise*, *15*（5）, 521-527.

Johnson, C. D., & McHugh, M. P. （2006）. Performance demands of professional male tennis players. *British journal of sports medicine, 40*（8）, 696-699.

Kamijo, K., Nishihira, Y., Hatta, A., Kaneda, T., Wasaka, T., Kida, T., & Kuroiwa, K.（2004）. Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system. *European Journal of Applied Physiology, 92*（3）, 305–311.

公益財団法人日本テニス協会（2015）．テニス指導教本Ⅰ，初版，公益財団法人日本テニス協会編，大修館書店．pp7-35.

小屋菜穂子，北村哲，梅林薫，宮地弘太郎，道上静香，細木祐子（2014）．テニス競技のナショナルジュニアテニス選手に求められる体力評価の検討．*テニスの科学，22*: 23-32.

小屋菜穂子，北村哲，髙橋仁大，三橋大輔（2018）．男子エリートテニス選手におけるサービスパフォーマンスと体力との関連性-サービススピードと回転量に着目して-，*コーチング学研究，31*, 2, 197-208.

Kovacs, M. S. （2006）. Applied physiology of tennis performance. *British journal of sports medicine*, *40*（5）, 381-386.

Kovacs, M. S. （2007）. Tennis physiology. *Sports medicine, 37*（3）, 189-198.

Kuroda, Y., Suzuki, N., Dei, A., Umebayashi, K., Takizawa, K., & Mizuno, M.（2015）A comparison of the physical fitness, athletic performance, and competitive achievements of junior and senior tennis players. *Movement, Health & Exercise, 4*（1）, 39-50.

Kuroda, Y., Takizawa, K., & Mizuno, M. （2016）. Relevance of perceived exertion and accuracy of second serve in collegiate mens tennis players. *Journal of Sport and Human Performance. 4*（4）, 1-10.

Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S., & Bherer, L. （2013）. Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain and Cognition, 81*（1）, 10–17.

Lyons, M., Al-Nakeeb, Y., Hankey, J., & Nevill, A. （2013）. The effect of moderate and high-intensity fatigue on groundstroke accuracy in expert and non-expert tennis players. *Journal of sports science & medicine*, *12*（2）, 298-308.

Ma, S. M., Liu, C. C., Tan, Y., & Ma, S. C. （2013）. Winning matches in Grand Slam men's singles: An analysis of player performance-related variables from 1991 to 2008. *Journal of Sports Sciences, 31*（11）, 1147–1155.

Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. （2010）. Dehydration and rehydration in competative sport. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *20*, 40-47.

Meyer, F., Szygula, Z., & Wilk, B. （2016）. *Fluid balance, hydration, and athletic performance*. CRC Press, 134-147

Osterberg, K. L., Horswill, C. A., & Baker, L. B. （2009）. Pregame urine specific gravity and fluid intake by National Basketball Association players during competition. *Journal of athletic training, 44*（1）, 53-57.

Overney, L. S., Blanke, O., and Herzog, M. H. （2008） Enhanced temporal but not attentional processing in expert tennis players. *PLoS One,* Jun 11;3（6）:e2380.

Patel, A. V., Mihalik, J. P., Notebaert, A. J., Guskiewicz, K. M., & Prentice, W. E. (2007). Neuropsychological performance, postural stability, and symptoms after dehydration. *Journal of athletic training, 42*(1), 66.

Poulton, E. C. （1957）. On prediction in skilled movements. *Psychological bulletin, 54*（6）, 467.

Pugh, S. F., Kovaleski, J. E., Heitman, R. J., & Gilley, W. F. (2003). Upper and lower body strength in relation to ball speed during a serve by male collegiate tennis players. *Perceptual and motor skills, 97*(3), 867-872.

Reid, M., McMurtrie, D., & Crespo, M. （2010）. The relationship between match statistics and top 100 ranking in professional men's tennis. *International Journal of Performance Analysis in Sport, 10*（2）, 131-138.

Roetert, E. P., Garrett, G. E., Brown, S. W., & Camaione, D. N. （1992）. Performance profiles of nationally ranked junior tennis players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *6*（4）, 225-231.

Sawka, M. N., Montain, S. J., & Latzka, W. A. （2001）. Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, *128*（4）, 679-690.

Sebolt, D. R. （1970）. A stroboscopic study of the relationship of ball velocity and tennis performance. Research Quarterly. American Association for Health, *Physical Education and Recreation, 41*（2）, 182-188.

Serfass, R. C., Stull, G. A., Alexander, J. F., & Ewing Jr, J. L. （1984）. The effects of rapid weight loss and attempted rehydration on strength and endurance of the handgripping muscles in college wrestlers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *55*（1）, 46-52.

Sharma, V. M., Sridharan, K., Pichan, G., & Panwar, M. R. （1986）. Influence of heat-stress induced dehydration on mental functions. *Ergonomics*, *29*（6）, 791-799.

Shirreffs, S. M. （2005）. The importance of good hydration for work and exercise performance. *Nutrition reviews*, *63*（suppl_1）, S14-S21.

Silva, A. M., Fields, D. A., Heymsfield, S. B., & Sardinha, L. B. （2011）. Relationship between changes in total-body water and fluid distribution with maximal forearm strength in elite judo athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 25*（9）, 2488-2495.

Singer, R. N. （2000）. Performance and human factors: Considerations about cognition and attention for self-paced and externally-paced events. *Ergonomics, 43*（10）, 1661–1680.

Smith, M. F., Newell, A. J., & Baker, M. R. （2012）. Effect of acute mild dehydration on cognitive-motor performance in golf. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *26*（11）, 3075-3080.

Stroop, J. R. （1935）. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18*, 643–662.

Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchsow, M., Heim, R., & Kiefer, M. （2009）. Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research, 1269*, 114–124.

Tippet, M. L., Stofan, J. R., Lacambra, M., & Horswill, C. A. （2011）. Core temperature and sweat responses in professional women's tennis players during tournament play in the heat. *Journal of athletic training, 46*（1）, 55-60.

Ulbricht, A., Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2016). Impact of fitness characteristics on tennis performance in elite junior tennis players. The *Journal of Strength & Conditioning Research, 30*(4), 989-998.

Velentzas, K., Heinen, T., & Schack, T. （2011）. Routine integration strategies and their effects on volleyball serve performance and players' movement mental representation. *Journal of Applied Sport Psychology, 23*（2）, 209-222.

Vestberg, T., Reinebo, G., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. （2017）. Core executive functions are associated with success in young elite soccer players. *PloS one, 12*（2）, e0170845.

Wei, S. H., Chiang, J. Y., Shiang, T. Y., & Chang, H. Y.（2006）. Comparison of shock transmission and forearm electromyography between experienced and recreational

tennis players during backhand strokes. *Clinical Journal of Sport Medicine, 16*（2）, 129-135.

Wittbrodt, M. T., & Millard-Stafford, M. （2018）. Dehydration Impairs Cognitive Performance: A Meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, *50*（11）, 2360-2368.

Wong, F. K., Keung, J. H., Lau, N. M., Ng, D. K., Chung, J. W., & Chow, D. H. (2014). Effects of body mass index and full body kinematics on tennis serve speed. *Journal of human kinetics, 40*(1), 21-28.

図表

◎表記方法：図および表●-■，●：章；■：番目

表 1-1）1st Serve Point Won および 2nd Serve Point Won の上位 10 名選手

Ranking	1st Serves Point Won	2nd Serves Point Won
1	Ivo Karlovic	**Rafael Nadal**
2	Goran Ivanisevic	**Roger Federer**
3	Richard Krajicek	John Isner
4	Wayne Arthurs	**Andy Roddick**
5	Milos Raonic	**Novak Djokovic**
6	**Pete Sampras**	Wayne Arthurs
7	Mark Philippoussis	Milos Raonic
8	Greg Rusedski	**Juan Carlos Ferrero**
9	**Boris Becker**	**Andre Agassi**
10	**Andy Roddick**	Stan Wawrinka

ATP Individual Match Stats 2018年3月1日

1st Serve Point Won および 2nd Serve Point Won の上位 10 名選手のうち，ATP ランキング歴代 1 位の選手は，1st Serve Point Won に 3 名，2nd Serves Point Won に 6 名の名前が表記されている. また, 2019 年度現在での現役選手は, 1st Serve Point Won に 2 名，2nd Serves Point Won に 6 名の名前が表記されている.

Note: 1st Serve Point Won: 1st サービスが入ってポイントを取得した割合；2nd Serve Point Won: 2nd サービスが入ってポイントを取得した割合；**太文字**：ATP Ranking 歴代 1 位のテニス選手；　　：2019 年現在の現役テニス選手.

表 5-1）運動前後における SCWT の測定結果および変化量.

	Pre-	Post-	Change
Congruent Reaction Time (s)	22.83 (20.52 to 25.13)	21.15 (18.92 to 23.37)	-1.68(-3.16 to -0.20)
Congruent Error (number)	1.82 (0.74 to 2.89)	2.36 (0.98 to 3.75)	0.55(-0.51 to 1.60)
Incongruent Reaction Time (s)	32.34 (28.88 to 35.79)	31.56 (27.28 to 35.84)	-0.78(-3.78 to 2.22)
Incongruent Error (number)	4.09 (2.58 to 5.61)	6.91 (4.53 to 9.28)**	2.82(1.55 to 4.49)
Interference in Reaction Time (s)	9.51 (7.14 to 11.88)	10.42 (7.77 to 13.05)	0.90(-1.87 to 3.67)
Interference in Error (number)	2.27 (0.96 to 3.59)	4.55 (2.54 to 6.55)*	-1.91(-4.32 to 0.49)

Note: *$p < 0.05$, **$p < 0.01$.

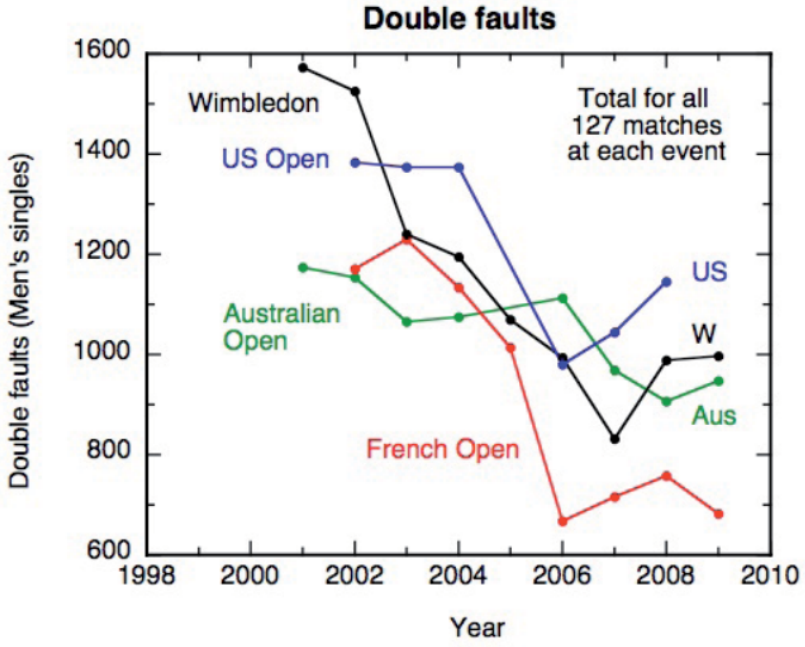
Note: SCWT: Stroop colour word test；Congruent Reaction Time: 統制課題の反応時間；Congruent Error: 統制課題の誤答数；Incongruent Reaction Time: 干渉課題の反応時間；Incongruent Error: 干渉課題の誤答数；Interference in Reaction Time: 反応時間の干渉量；Interference in Error: 誤答数の干渉量；Pre-: 運動前；Post-: 運動後；Change: 変化量；（n = 11，平均値および CI）

表 6-1）水分損失率と各変数の相関係数

（　　：実験前のサービス精度を統制変数においた偏相関分析；無地：統制変数なしの相関分析）

	⊿Weight	⊿RPE	HR	⊿Serve	Serve_Post	Serve_Pre
⊿Weight	-	-.492	-.666*	.-702*	-.571	-
⊿RPE	-.486	-	-.342	.226	.165	-
HR	.679*	-.348	-	-.517	-.431	-
⊿Serve	-.393	.156	-.335	-	.949*	-
Serve_Post	-.611*	.177	-.459	.622*	-	-
Serve_Pre	-.329	.069	-.188	-.522	.291	-

Note:⊿Weight: 水分損失率；⊿RPE: ウォームアップ後と実験後の主観的運動強度の変化率；HR: 実験中の心拍数；⊿Serve: サービス精度の変化率；Serve_Post: 実験前のサービス精度；Serve_Pre: 実験後のサービス精度；*p ＜ 0.05,（n = 11.）



Cross and Pollard. ITF Coaching and sport Science Review 2009; 16(19): 8-10

図 1-1）グランドスラム大会におけるダブルフォールトの本数の変遷.

2001 年から 2009 年までに実施された全豪オープン，フレンチオープン，ウィンブルドンおよび全米オープンの 127 試合におけるダブルフォールトの本数を示した.

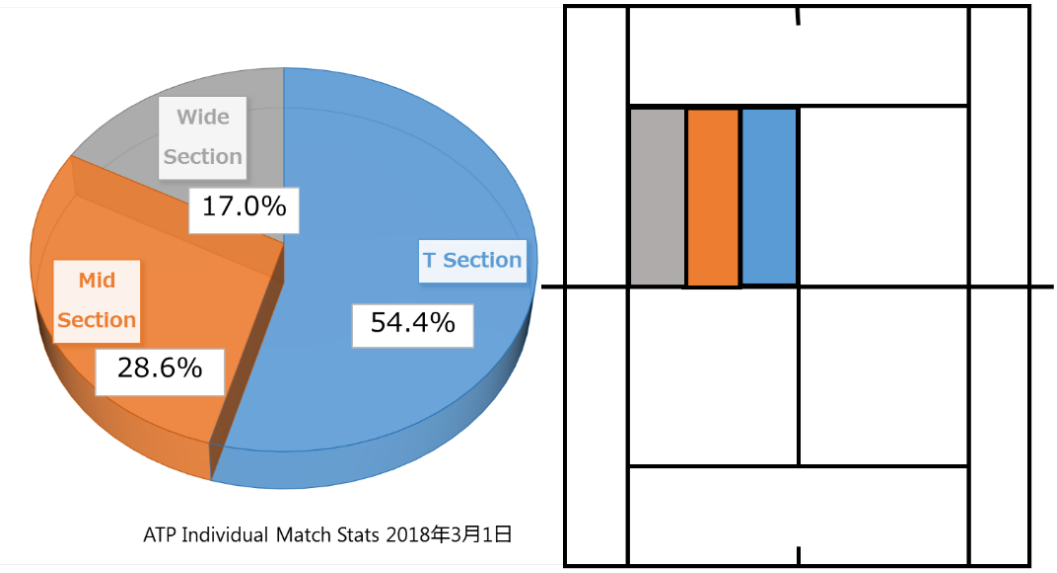


図 1-2）ATP ランキング 10 位以内の選手（2018 年 3 月）における 2nd サービスのコース内訳.

上記の選手の 2nd サービスにおいて，T Section へ 54.4%，Mid Section へ 28.6%，Wide Section へ 17.0%の割合で打球している.

Note: T Section: テニスコートのサービスボックスにおける水色部分；Mid Section: テニスコートのサービスボックスにおける橙色部分；Wide Section: テニスコートのサービスボックスにおける灰色部分.

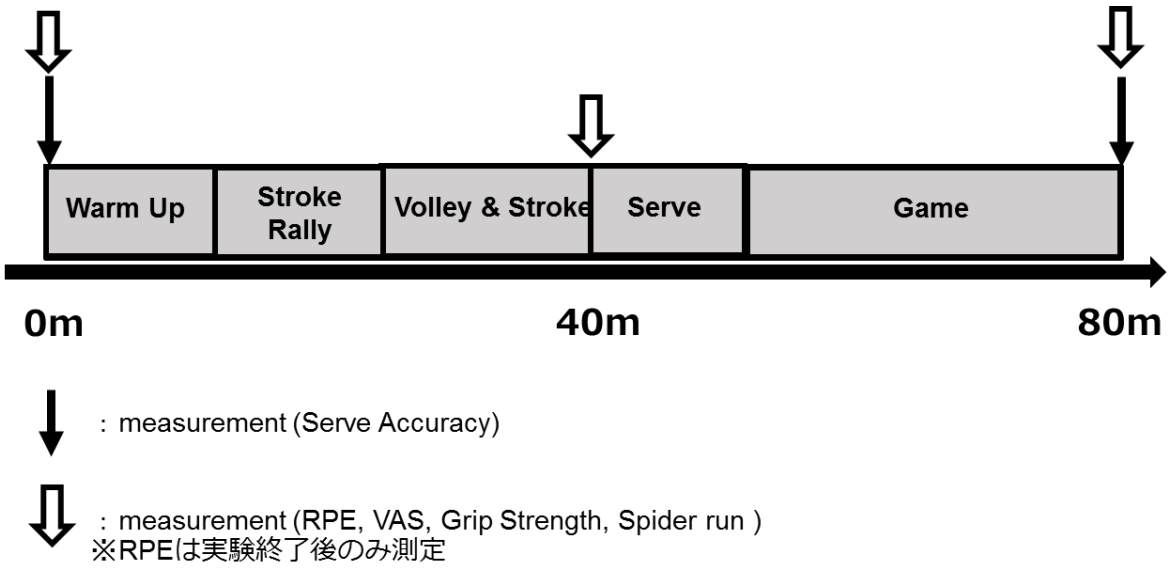


図 4-1）研究課題 I の実験プロトコル.

対象者は，80 分の実験を実施した．対象者 2 人 1 組となり実験を実施する前に日常実施しているウォーミングアップを実施した後，20 分間のグラウンドストロークラリーと、20 分間のボレーvs ストローク， 10 分間のサービス練習，最後に 30 分間の試合（シングルス）を実施した. 測定タイミングは実験前に握力，5 方向走，主観的疲労感，2nd サービス精度，実験 40 分後は握力，5 方向走，主観的運動強度，主観的疲労感，実験後は握力，5 方向走，主観的運動強度，主観的疲労感，2nd サービス精度とした.

Note: Warm Up: ウォーミングアップ；Stroke Rally: ストローク（対人練習）；Volley & Stroke: ボレーvs ストローク（対人練習）; Serve: サービス練習 ; Game: 模擬試合 ; Serve Accuracy: 2nd サービス精度の測定 ; RPE: 主観的運動強度 ; VAS: 主観的疲労感；Grip Strength: 握力；Spider run: 5 方向走.

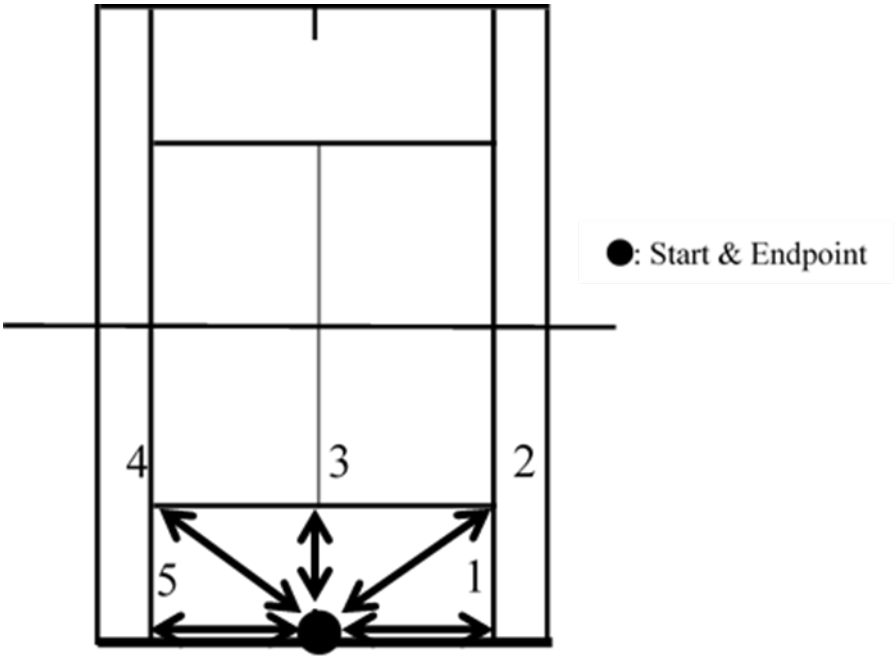


図 4-2）5 方向走の測定方法.

●からスタートし，1 の場所を手で触れた後またスタート地点へ戻る．それ以降は，数字が大きくなるようにスタート地点と往復する．走行タイムの計測は，スタート開始から 5 を手で触れ再度スタート地点へ戻るまでとした.

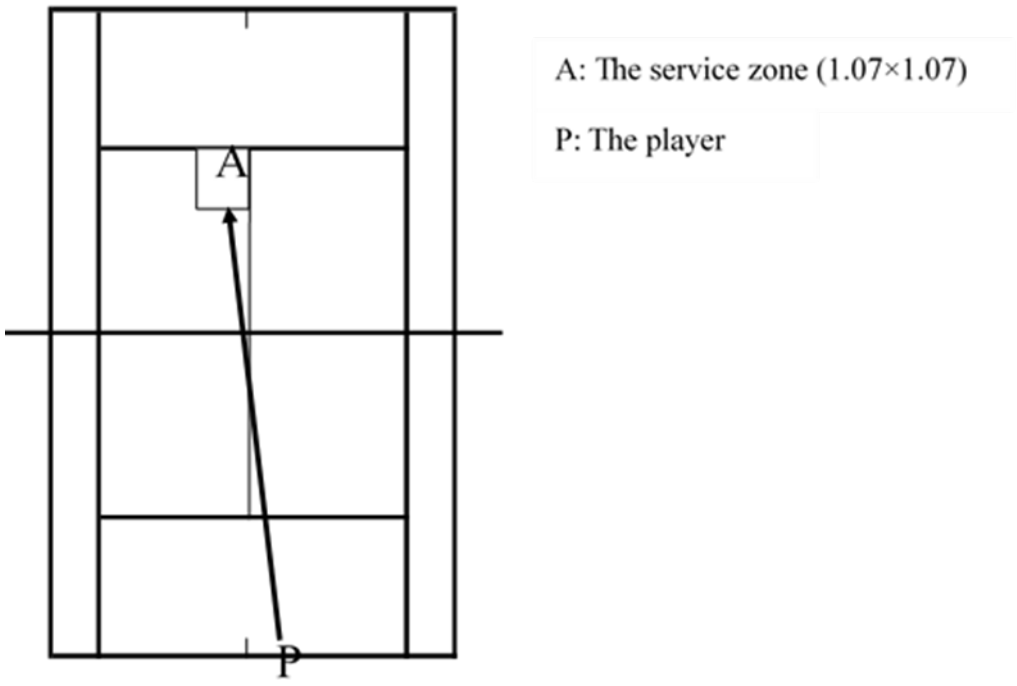


図 4-3）2nd サービス精度の実験方法.

選手（P）は，サービスボックスの A に入るよう打球する.

図 4-4）2nd サービス精度の実験方法（写真）.

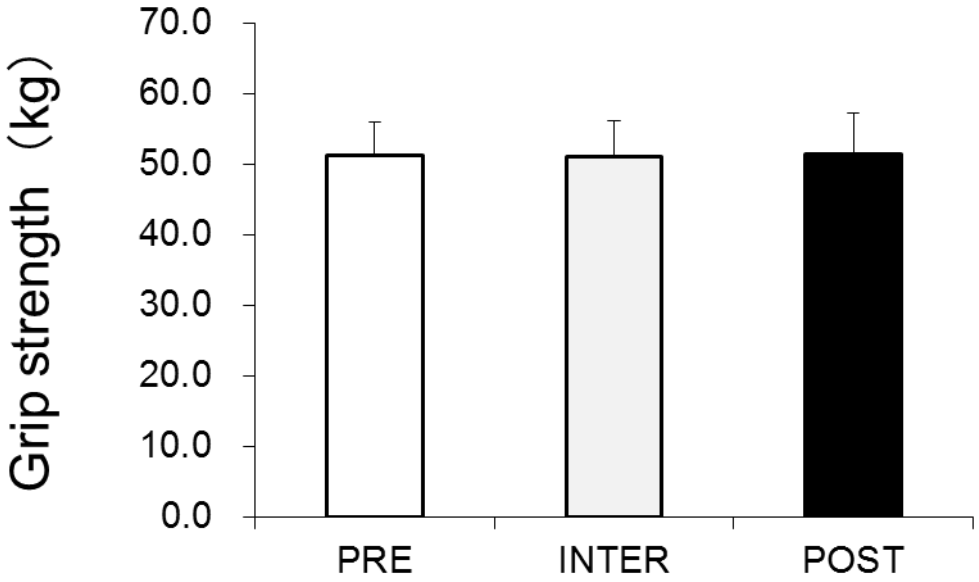


図 4-5）実験前，40 分後および実験終了後における握力.

実験前，40 分後，実験終了後の測定において有意な違いは認められなかった.

（平均値±標準偏差）（n = 8）

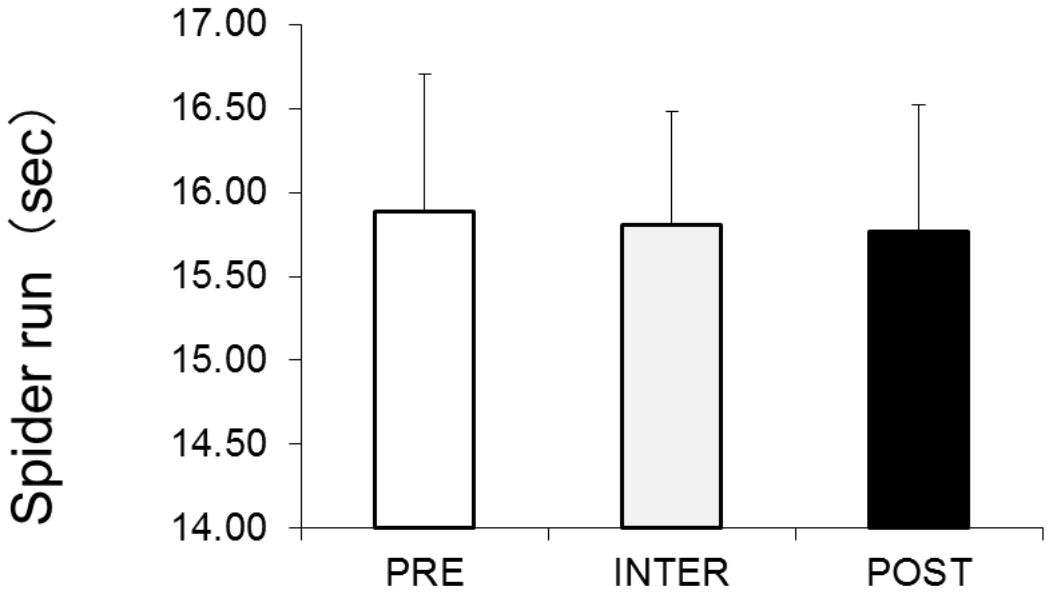


図 4-6）実験前・40 分後・実験終了後における 5 方向走（Spider run）タイム．

実験前，40 分後，実験終了後の測定において有意な違いは認められなかった．

（平均値±標準偏差）（n = 8）

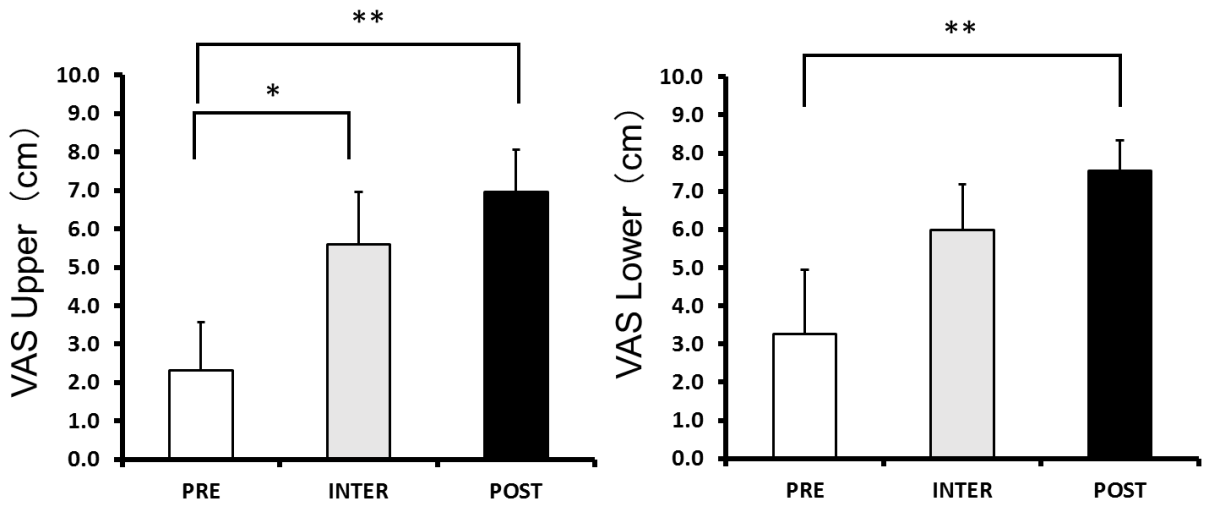


図 4-7）実験前・40 分後・実験終了後における上肢および下肢の主観的疲労感. 上肢の主観的疲労感において，実験前と比較し 40 分後および実験終了後において有意に上昇した．下肢の主観的疲労感において，実験前と比較して実験終了後において有意に上昇した（平均値±標準偏差）（n = 8）.

Note; VAS Upper: 上肢の主観的疲労感；VAS Lower: 下肢の主観的疲労感； *p ＜ 0.05；** p ＜ 0.01（n = 8）

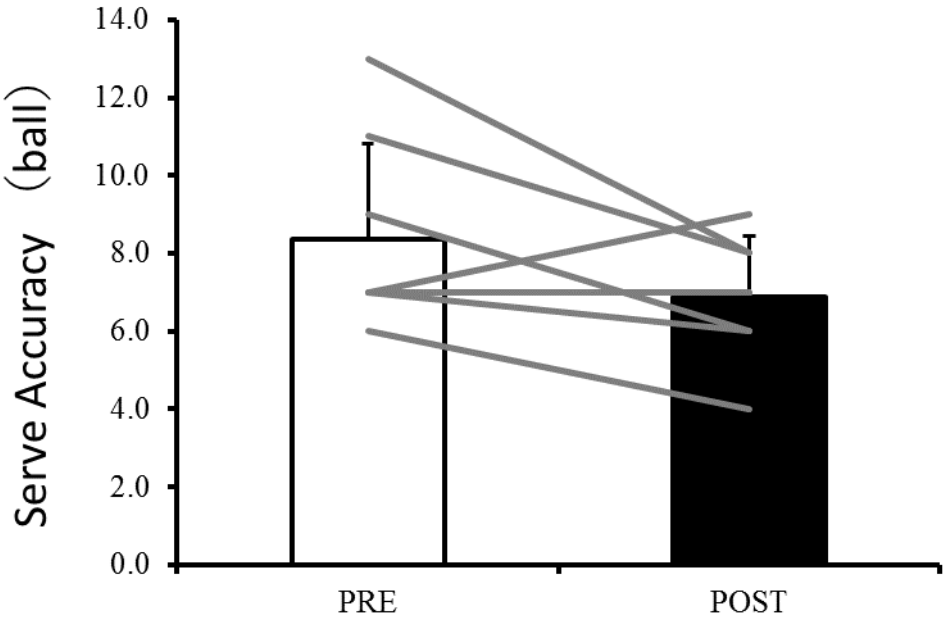


図 4-8）実験前および実験終了後における 2nd サービス精度の変化.

2nd サービス精度は, 実験前と比較して実験後において減少傾向が認められた（$p < 0.1$）. グラフ中の直線は, 個人内の変化を示している.（平均値±標準偏差）（n = 8）

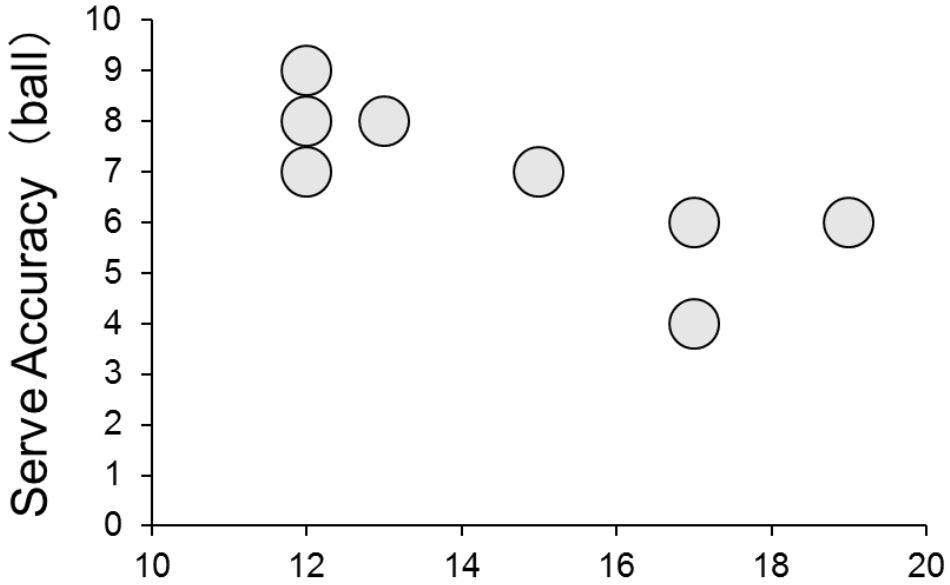


図 4-9）2nd サービス精度と主観的運動強度（RPE）との関連性.

2nd サービス精度は，主観的運動強度と負の相関関係が認められた（r_s = -0.81, $p < 0.01$）（n = 8）.

Note; Serve Accuracy: 2nd サービス精度；RPE: 主観的運動強度

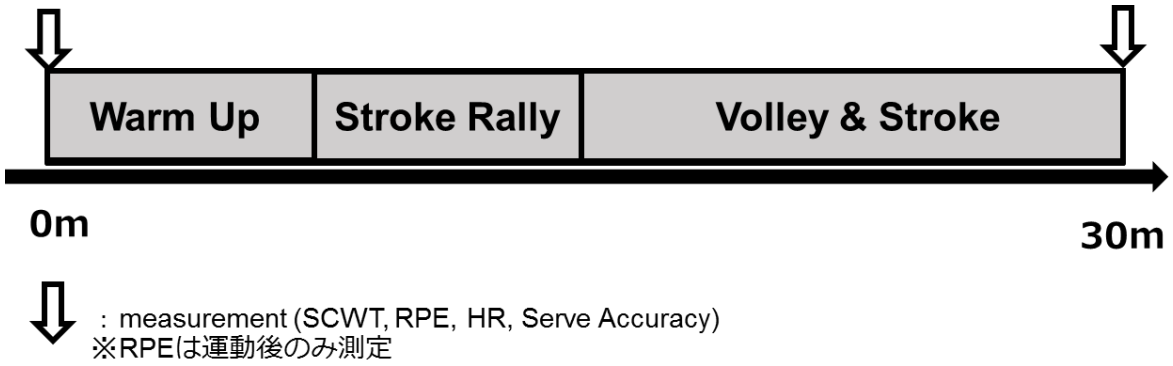


図 5-1）研究課題Ⅱの実験プロトコル.

対象者は，30 分の実験を実施した．対象者 2 人 1 組となり実験を実施する前に日常実施しているウォーミングアップを実施した後，10 分間のグラウンドストロークラリーと、20 分間のボレーvs ストロークを実施した．測定タイミングは実験前に SWCT，心拍数，2nd サービス精度，実験後は SWCT，心拍数，主観的運動強度，2nd サービス精度とした.

Note: Warm Up: ウォーミングアップ；Stroke Rally: ストローク（対人練習）；Volley & Stroke: ボレーvs ストローク（対人練習）; SCWT: Stroop colour word test; RPE: 主観的運動強度；HR: 心拍数の測定；Serve Accuracy: 2nd サービス精度の測定.

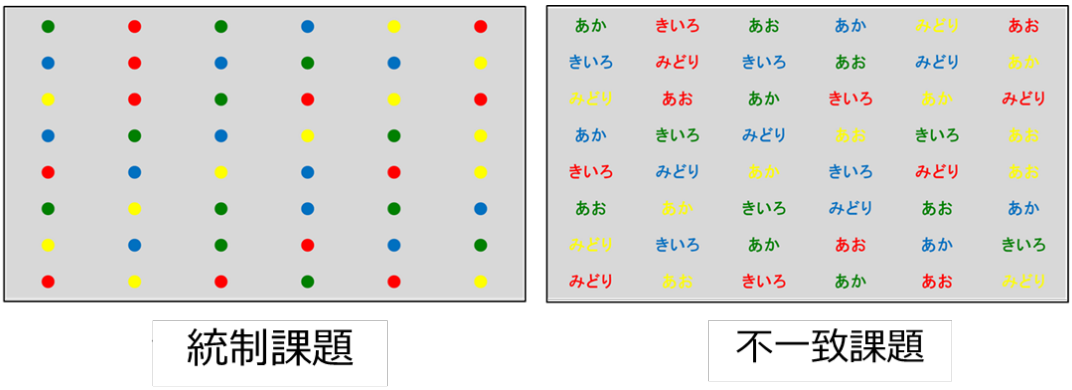


図 5-2）SCWT における統制課題と不一致課題.

Note: SCWT: Stroop colour word test

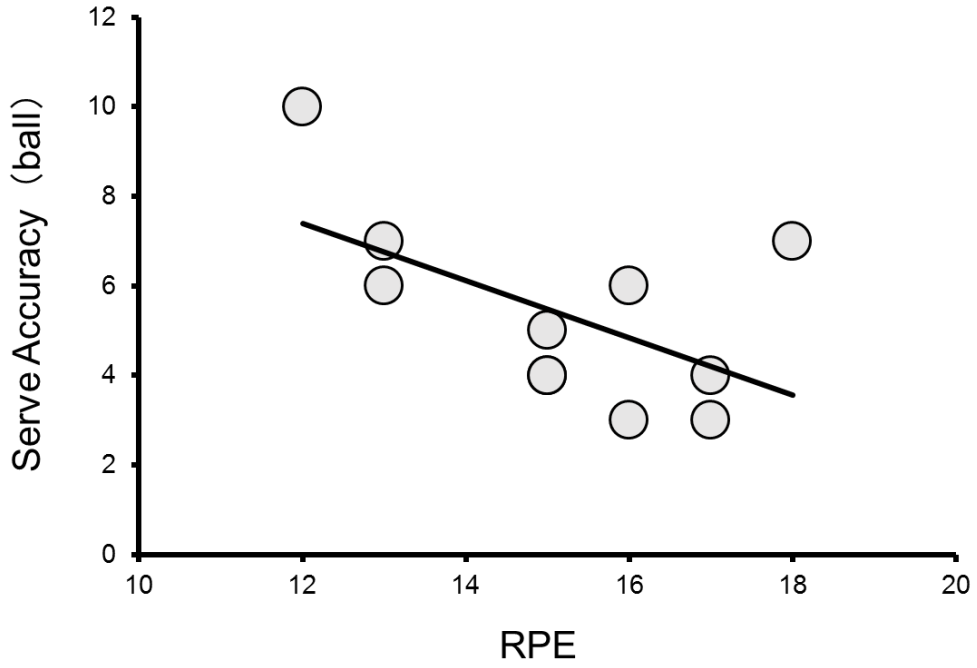


図 5-3）2nd サービス精度と主観的運動強度との関連性.

2nd サービス精度は，主観的運動強度と負の相関関係が認められた（r = -.57，p = .07）（n = 11）.

Note; Serve Accuracy: 2nd サービス精度；RPE: 主観的運動強度

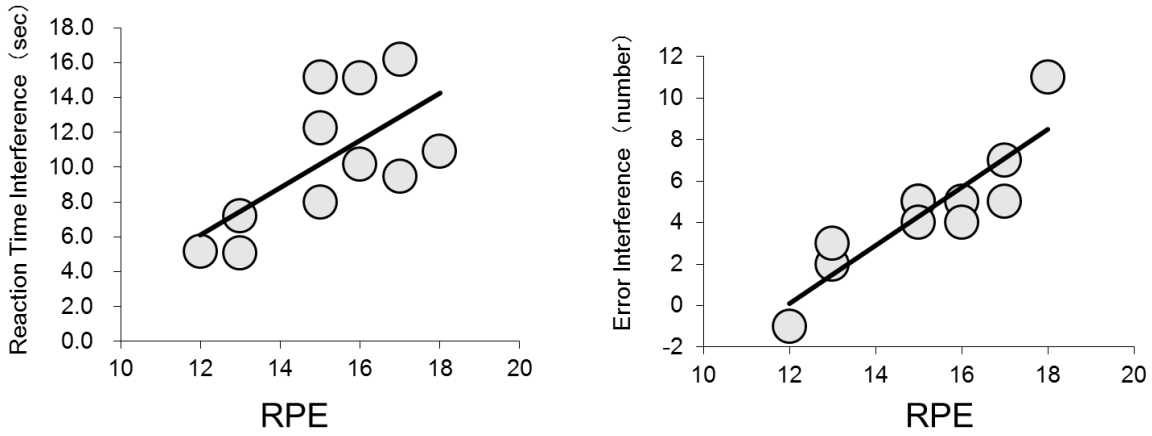


図 5-4）反応時間および誤答数の干渉量と主観的運動強度との関連性.

本研究における認知機能の評価として用いた反応時間および誤答数の干渉量は,主観的運動強度とそれぞれ正の相関関係が認められた（それぞれ，$r = 0.65$, $p < 0.05$；$r = 0.89$，$p < 0.01$）（$n = 11$）.

Note: Reaction Time Interference: 反応時間の干渉量；Error Interference: 誤答数の干渉量；RPE: 主観的運動強度.

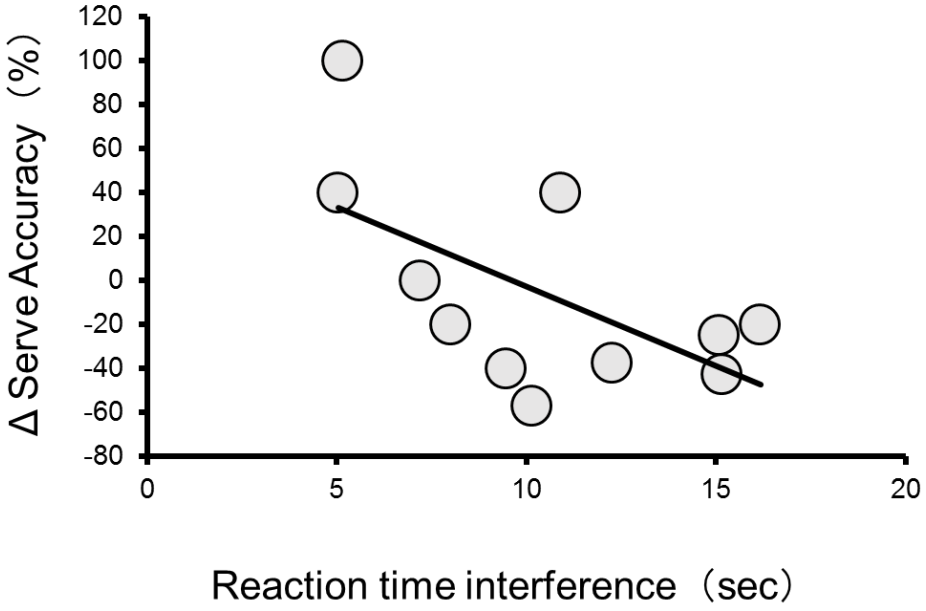


図 5-5）2nd サービス精度の変化率と運動後の反応時間の干渉量との関連性.

実験前後における 2nd サービス精度の変化率は，実験後の反応時間の干渉量と負の相関関係が認められた（r = -0.62，p ＜ 0.05）（n = 11）.

Note: ⊿Serve Accuracy: 2nd サービス精度の変化率；Reaction Time Interference: 反応時間の干渉量.

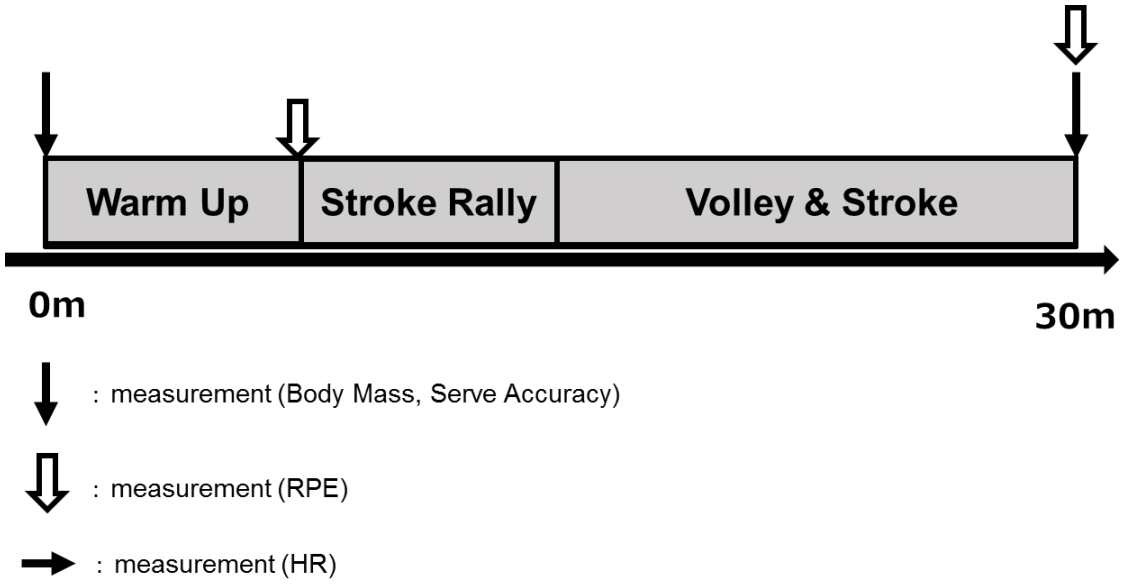


図 6-1）研究課題Ⅲの実験プロトコル.

対象者は，30 分の実験を実施した．対象者 2 人 1 組となり実験を実施する前に日常実施しているウォーミングアップを実施した後，10 分間のグラウンドストロークラリーと、20 分間のボレーvs ストロークを実施した．測定項目の測定タイミングは，実験前に体重，心拍数，2nd サービス精度，ストロークラリー前に主観的運動強度，実験後に体重，心拍数，主観的運動強度，2nd サービス精度とした.

Note: Warm Up: ウォーミングアップ；Stroke Rally: ストローク（対人練習）；Volley & Stroke: ボレーvs ストローク（対人練習）; Body Mass: 体重測定； RPE: 主観的運動強度；Serve Accuracy: 2nd サービス精度の測定；HR: 心拍数の測定.

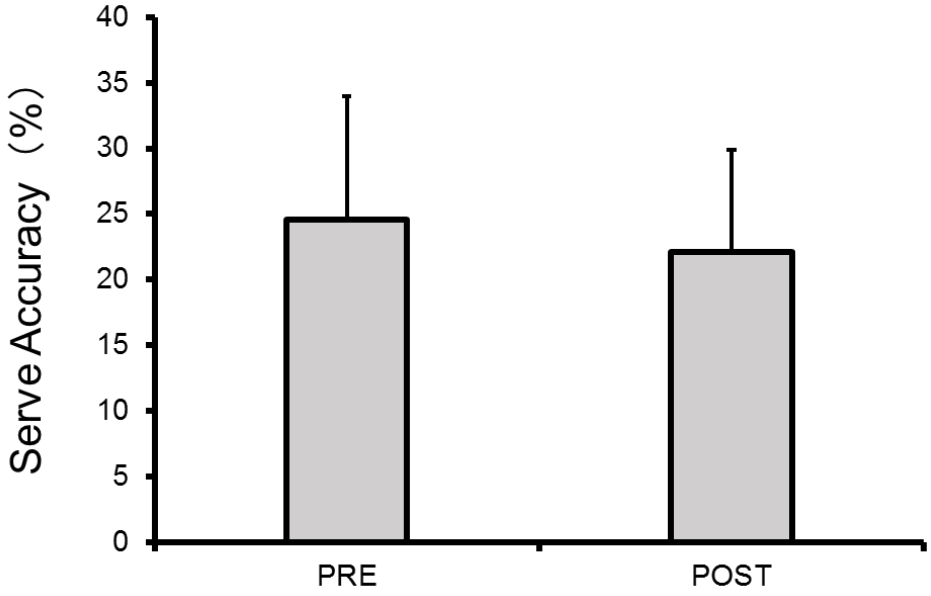


図 6-2）実験前後の 2nd サービス精度の変化．2nd サービス精度は，実験前と比較して実験終了後において有意な差が認められなかった（平均値±標準偏差）（n = 11）．

Note: Serve Accuracy: 2nd サービス精度（%）．

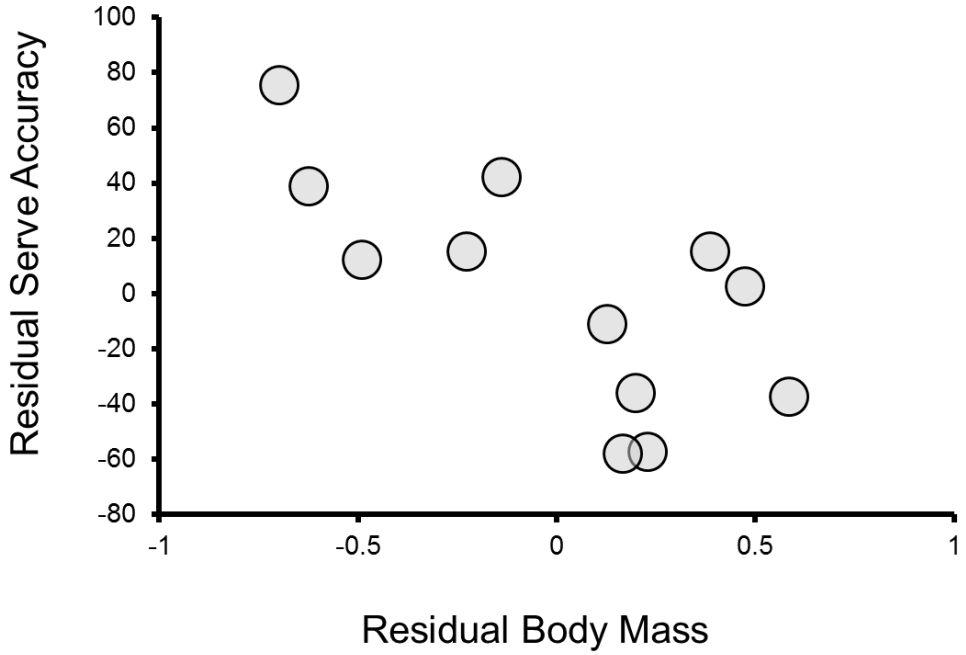


図 6-3）実験前後における 2nd サービス精度の変化と水分損失率との関連性.

2nd サービス精度と水分損失率の関連性を検討する場合，実験前の 2nd サービス精度が極端に低い事により，実験後の 2nd サービス精度が実験前より低下したとしても変化率に差が出なくなってしまう可能性が考えられること，実験前の 2nd サービス精度と実験前後における 2nd サービス精度の変化率との関連性に有意傾向（$p < 0.1$）が認められたことから，実験前の 2nd サービス精度を統制変数においた 2nd サービス精度の低下率と水分損失率を偏相関分析した結果，有意に負の相関関係を示した（partial $r = -0.70$，$p < 0.05$）（$n = 11$）.

Note: Residual Serve Accuracy: 2nd サービス精度の残差;Residual Body Mass: 水分損失率の残差.