

2021年度 3月修了 修士論文

サスペンションエクササイズが YBT-UQ に与える影響
～Swimmer's shoulder 予防エクササイズの提言～

Impact of Suspension Exercise on YBT-UQ
～ Swimmer's shoulder onset prevention exercise recommendations ~

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 スポーツ医科学領域

5020A059-1

松下 大輝

研究指導教員：金岡 恒治 教授

・ 第 1 節 緒言	1
・ 第 2 節 方法	5
・ 2-1) 対象者	5
・ 2-2) 実験プロトコル	6
・ 2-3) 筋活動計測	7
・ 2-3-1) 実験環境設定	7
・ 2-3-2) 電極貼付	7
・ 2-3-3) 最大随意等尺性収縮の計測	9
・ 2-4) Y BALANCE TEST-UPPER QUARTER (YBT-UQ) 到達距離 の計測	10
・ 2-5) サスペンションエクササイズ介入	11
・ 2-6) データ解析	12
・ 2-6-1) 筋活動量の算出	12
・ 2-6-2) YBT-UQ の PHASE 分け	12
・ 2-6-3) サスペンションエクササイズ筋活動解析	13
・ 2-7) 統計処理	13
・ 第 3 節 結果	14
・ 3-1) サスペンションエクササイズ時の筋活動	14
・ 3-2) MEDIAL REACH の各試技間における YBT-UQ 比較 ...	15
・ 3-2-1) MEDIAL REACH 到達距離	15
・ 3-2-2) MEDIAL REACH における筋活動	16
・ 3-2-3) MEDIAL REACH の試技間における変化量比較	17
・ 3-3) SUPEROLATERAL REACH の各試技間における YBT-UQ 比較	19
・ 3-3-1) SUPEROLATERAL REACH 到達距離	19
・ 3-3-2) SUPEROLATERAL REACH の筋活動	20
・ 3-3-3) SUPEROLATERAL REACH の試技間における変化量比較	21
・ 3-4) INFEROLATERAL REACH の各試技間における YBT-UQ 比 較	23
・ 3-4-1) INFEROLATERAL REACH 到達距離	23

・ 3-4-2) INFEROLATERAL REACH の筋活動	24
・ 3-4-3) INFEROLATERAL REACH の試技間における変化量比較	25
・ 3-5) 複合 REACH の各試技間における YBT-UQ 比較	27
・ 3-5-1) 複合 REACH 到達距離	27
・ 3-5-3) 複合 REACH の試技間における変化量比較	28
・ 第 4 節 考察	30
・ 4-1) サスペンションエクササイズと YBT-UQ 到達距離 ...	30
・ 4-2) YBT-UQ 時の筋活動	31
・ 4-3) サスペンションエクササイズ時の筋活動	32
・ 4-4) 研究の限界	32
・ 第 5 節 結論	33
・ 参考文献	34
・ 謝辞	37

第 1 節 緒言

競泳選手に好発する障害として 2002 年から 2016 年に競泳日本代表選手を対象に行われた運動器障害発生動向調査では、腰部障害が最多であり、肩関節障害、膝関節障害、足関節障害と続いた。2009 年から 2016 年にかけて体幹トレーニングを取り入れた腰部障害予防プロジェクトが行われたところ、介入前の 2002 年から 2008 年と比べて腰部障害保有率が有意に減少した。一方で肩関節障害は増加傾向にあった

¹⁾。競泳では、上肢のストローク動作によって推進力を生む。先行研究でも反復するストローク動作の影響により、競泳選手に最も多い障害発生部位として肩関節(肩甲上腕関節)であるとされている²⁾。競泳選手の 40～91%は肩関節障害を経験しており³⁾、1 年に 20～35%の競泳選手がタイムロスを経験すると報告されている⁴⁾。競泳選手に好発する肩関節障害は Swimmer's shoulder(水泳肩)と称され⁵⁾、主な病態は肩峰下インピンジメントである⁶⁾⁷⁾。Swimmer's shoulder の要因として、肩関節内旋位で上肢挙上を行うことで、肩峰下で上腕骨大結節と棘上筋腱がインピンジメントを起こしやすい肢位になること³⁾⁸⁾や、肩周囲の内・外旋筋の不均衡によって肩関節障害が生じることが明らかになっている⁹⁾。また、競泳選手の肩関節障害の発生要因を筋シナジー解析にて検討した研究では、肩関節障害の既往のある選手は 4 泳法共通して既往がない選手には存在する上肢と体幹部の筋シナジーを認めなかったことから、肩関節障害の予防やリハビリテーションでは肩周囲筋のみならず上肢と体幹筋群の協調性を獲得するエクササイズが必要とされている¹⁰⁾。

そのような上肢と体幹筋群の協調性を獲得するエクササイズには、

天井などから吊るしたロープ状のものを用いて、自体重を負荷とするサスペンションエクササイズが有効であると考える。サスペンションエクササイズはエクササイズ中のバランス維持のために神経筋協調性を向上させることが報告されており¹¹⁾、その他にも体幹筋群の安定性や柔軟性の向上を目的として¹¹⁾、様々なスポーツ現場やリハビリテーションに活用される。さらに、サスペンション器具の様に不安定性をもたらす器具の使用は、高い筋力発揮を可能にさせ、従来のエクササイズ負荷を増やす¹²⁾¹³⁾。このことから、競泳選手の肩関節障害予防を目的とした肩甲骨周囲筋群と体幹筋群の協調性獲得には、サスペンションエクササイズが有効であると考える。ハンドボール選手を対象とした研究は、サスペンションエクササイズ介入によって投球速度の増加を報告した¹¹⁾。また、柔道選手を対象とした研究は、下肢筋力・体幹筋持久力・腰背部およびハムストリングスの柔軟性・Yバランステスト到達距離がエクササイズ介入後に増加したと報告した¹⁴⁾。このように、様々なスポーツにおいてサスペンションエクササイズの有効性が明らかになりつつある。このサスペンションエクササイズによって、肩甲骨周囲筋群と体幹筋群の協調性を獲得することができれば、競泳選手の肩関節障害の予防、さらには競技パフォーマンスの向上につながると思われる。

Y Balance Test-Upper Quarter(以下 YBT-UQ)は動的バランス能力・胸部や上肢の可動性・体幹や上肢と肩周囲筋群の安定性といった上肢および体幹の機能的パフォーマンスを評価する¹⁵⁾¹⁶⁾。Push-up 姿勢において片側上肢および両足で体を支え、浮かせた上肢を内側(浮かせた上肢側)・上外側(支えた上肢および頭側)・下外側(支えた上肢および

尾側)に伸ばして到達距離を計測する YBT-UQ(図 1)は、支持基底面の外側に上肢を伸ばすことで、肩関節周囲筋の安定性・胸部や肩関節の可動性・胸部のローテーション・体幹の安定性の要素が組み合わされる。その結果、到達距離を伸ばすためにバランス能力や固有受容感覚、大きな関節可動域が必要とされる¹⁶⁾。先行研究では、到達距離が増加した要因は神経筋制御の変化を示唆している¹⁴⁾ことから、到達距離を伸ばすためには上肢および体幹筋群の協調的な活動が必要であると考ええる。また、このような上肢および体幹筋群の協調性を評価することは、競泳のパフォーマンスに必要な体幹筋群および上肢筋群の安定性、胸部や肩関節の可動性を評価することができることに加え、競泳のパフォーマンス向上と障害予防のための陸上トレーニングプログラムの開発に役立てることができるとされている¹⁷⁾。また、大学オーバーヘッドアスリートを対象とした肩関節障害既往の有無で YBT-UQ 到達距離を比較した研究では、肩関節障害既往のある群において YBT-UQ 到達距離が低かった¹⁵⁾ことや、肩峰下インピンジメントの有無で比較した研究では、肩峰下インピンジメントを有する対象者は YBT-UQ 到達距離が低い¹⁸⁾ことなど、肩関節障害によって YBT-UQ 到達距離が低下することが示されている。



①Medial reach(内側)



②Superolateral reach(上外側)



③Inferolateral reach(下外側)

図 1.Y Balance Test-Upper Quarter (YBT-UQ)

そこで本研究の目的は、サスペンションエクササイズ前後に YBT-UQ を行うことで、YBT-UQ 時の体幹・上肢筋群の筋活動および YBT-UQ 到達距離にサスペンションエクササイズが与える効果を明らかにすることとした。サスペンションエクササイズの即時的な効果を明らかにすることで、同エクササイズを競泳選手の肩関節障害予防のための陸上トレーニングとして提案することができると考える。仮説として、サスペンションエクササイズを実施することで、YBT-UQ の到達距離が向上すると予想した。

第 2 節 方法

・ 2-1) 対象者

対象者は、機縁募集で週 1 回 1 時間以上の定期的な運動を行なっている 18-30 歳の健常男性 15 名(平均年齢: 23.4 ± 1.5 歳、平均身長: 172.3 ± 8.5 cm、平均体重: 64.0 ± 9.1 kg)とした。過去 1 年以内に腰部と肩関節に外傷・障害を有する対象者、もしくは腰部や肩関節に手術歴のある対象者は含まれていない。本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する研究倫理委員会」の承認を得て実施した(承認番号:2020-417)。対象者には事前に研究の目的・方法・起こりうるリスクの説明を十分に行い、書面にて実験参加の同意を得た後、実験を実施した。

・ 2-2) 実験プロトコル

十分なウォーミングアップ後、対象者へ筋活動計測のための表面筋電を貼付し、各筋の最大随意等尺性収縮を行わせた。対象者はYBT-UQの方法について十分な説明を受け、練習試技を実施した後、YBT-UQ1回目を行った。30分の休憩の後にYBT-UQ 2回目を行い、10分の休憩後、サスペンションエクササイズを導入を行なった。この介入は上肢・体幹筋群の協調性向上を目的とし、10分の休憩後、YBT-UQ 3回目を行なった。実験プロトコルを図1に示す。各計測項目の詳細は後述する。

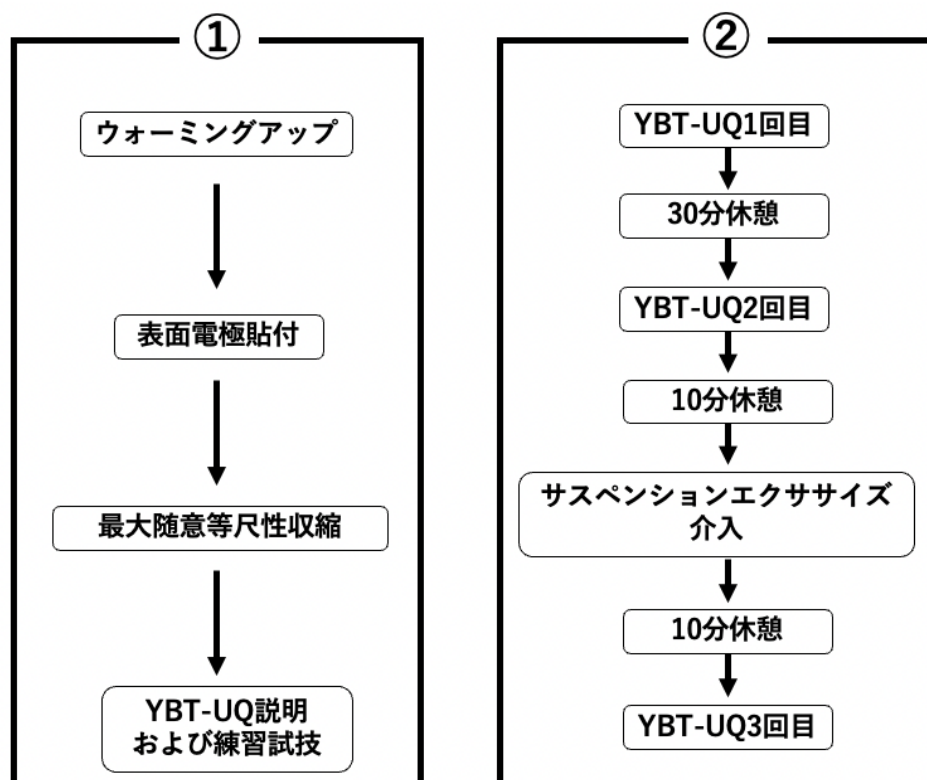


図 2. 実験プロトコル

・ 2-3) 筋活動計測

・ 2-3-1)実験環境設定

各筋の筋活動は、240Hzに設定したハイスピードカメラと同期した無線筋電計(BioLog DL5000, S&ME社製)を用いて、体表面上から計測した。Sampling rateは1000Hzに設定した。

・ 2-3-2)電極貼付

上腕二頭筋長頭(Biceps brachii: BB)・上腕三頭筋外側頭(Triceps brachii: TB)・僧帽筋上部(Upper trapezius: UT)・僧帽筋下部(Lower trapezius: LT)・大胸筋(Pectoralis major: PM)・前鋸筋(Serratus anterior: SA)・広背筋(Latissimus dorsi: LD)・腹直筋(Rectus abdominis: RA)・外腹斜筋(External oblique: EO)・内腹斜筋(Internal oblique: IO)・脊柱起立筋(Lumber erector spine: ES)・大腿直筋(Rectus femoris: RF)の12筋を対象とし、対象者の利き手側を計測した。皮膚処理後に表面電極(Blue Sensor N-00=S,メッツ社製)を各筋の筋線維方向と平行になるように貼付した。表面電極の貼付位置は下記の通りとした。表面電極およびデータロガー貼付後の対象者の写真を図3に示す。

- **BB**：肩峰内側と肘窩部を結んだ線の肘窩部から遠位1/3¹⁹⁾
- **TB**：肘頭と肩峰後面を結んだ中点から2横指外側¹⁹⁾
- **UT**：第7頸椎棘突起と肩峰を結んだ線の中点¹⁹⁾
- **LT**：Th8と三角結節を結んだ線のTh8 から遠位1/3¹⁹⁾
- **PM**：上腕骨大結節稜と胸骨中央を結んだ線の中点で鎖骨から2cm下

方¹⁸⁾

- SA : 第6肋骨と第8肋骨の間の中腋窩線上¹⁹⁾
- LD : 肩甲骨下角から4cm外側下方²⁰⁾
- EO : 臍から15cm外側¹⁹⁾
- IO : 上前腸骨棘から2cm内下方²¹⁾
- ES : 第3腰椎棘突起の3cm外側²²⁾
- RF : 下前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結んだ線の中点²²⁾

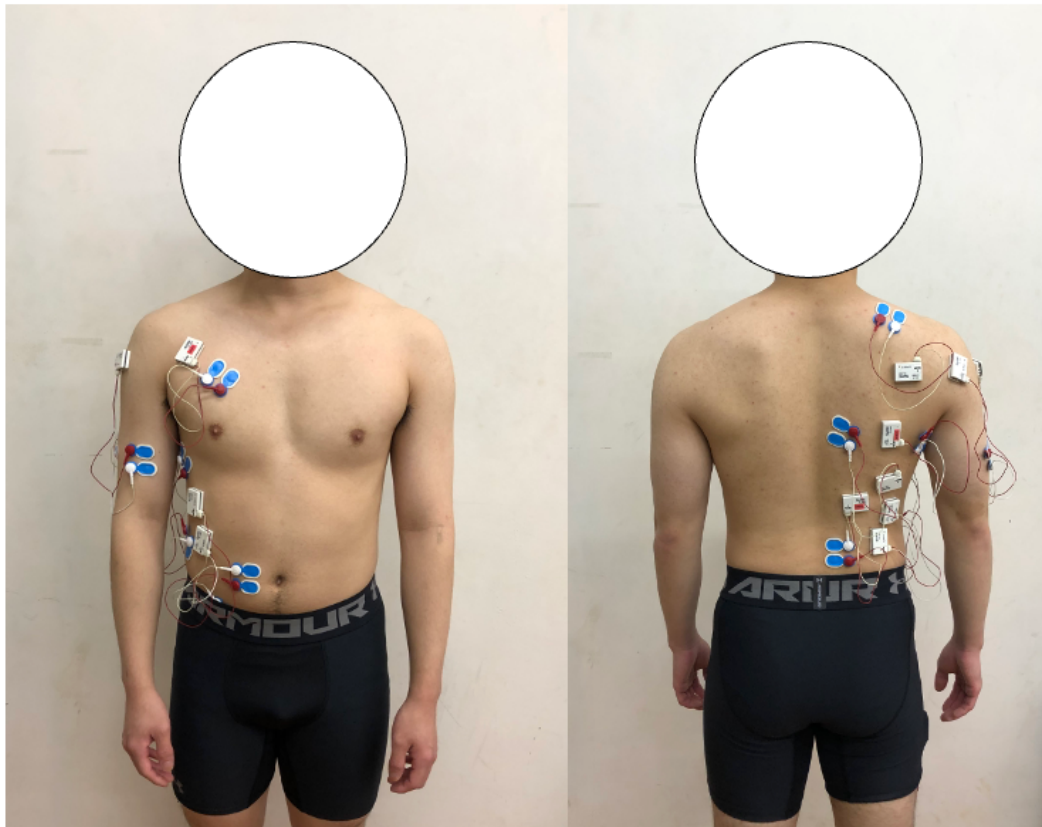


図3. 表面電極およびデータロガー貼付後の対象者

・ 2-3-3)最大随意等尺性収縮の計測

YBT-UQ時とサスペンションエクササイズ時の筋活動量を正規化するために、徒手抵抗による最大等尺性随意収縮(MVIC: Maximum Voluntary Isometric Contraction)時の筋活動を5秒間計測した。MVICにおける対象者の肢位と徒手抵抗の方向は下記の通りとした。

● **BB**：対象者は椅子座位にて、肩関節屈曲90度、肘関節屈曲90度位を保持し、検査者は肘関節伸展方向に力を加える。²²⁾

● **TB**：対象者は腹臥位にて、肩関節軽度外転および軽度伸展、肘関節軽度屈曲位を保持し、検査者は肘関節屈曲方向に力を加える。²²⁾

● **UT**：対象者は椅子座位にて肩甲骨を挙上位で保持し、検者は頸部と肩峰の中間に肩甲骨下制方向に力を加える。²³⁾

● **LT**：対象者は肩関節145度外転させた腹臥位にて肩甲骨を内転、後傾を保持し、検査者は上腕遠位に対して肩屈曲方向に力を加える。²⁴⁾

● **PM**：対象者は背臥位にて、肩関節水平内転90度、肘関節屈曲90度位を保持し、検査者は上腕へ肩関節水平外転方向に力を加える。²²⁾

● **SA**：対象者は肩関節130度屈曲させた椅子座位にて肩甲骨外転、上方回旋、肩関節屈曲位を保持し、検査者は手部に対して肩伸展、肩甲骨内転、下方回旋方向に力を加える。²⁴⁾

● **LD**：対象者は腹臥位にて、肩関節内旋・軽度外転・軽度伸展位を保持し、検査者は肩関節外転および屈曲方向に力を加える。²²⁾

● **RA**：対象者は膝屈曲位の仰臥位にて上肢を胸の前で組んだ状態で体幹を屈曲させ、検査者は体幹伸展方向の徒手抵抗を加える。²⁵⁾

● **EO**：対象者は膝屈曲位の仰臥位にて、上肢を胸部の前で組んだ状態

で、貼付した電極の反対側への体幹回旋と屈曲位を保持し、検査者は同側方向の体幹回旋と体幹伸展方向に力を加える。この時、別の検査者が下腿部を抑え、力発揮時に下肢が持ち上がらないようにする。²²⁾

● **IO**：対象者は膝屈曲位の仰臥位にて、上肢を胸部の前で組んだ状態で、貼付した電極の同側へ体幹を回旋させながら屈曲位を保持し、検査者は反対方向の体幹回旋と体幹伸展方向に力を加える。この時、別の検査者が下腿部を抑え、力発揮時に下肢が持ち上がらないようにする。²²⁾

● **ES**：対象者は腹臥位で手を後頭部で組んだ状態で体幹伸展させ、検査者は対象者の体幹屈曲方向へ力を加える。²⁶⁾

● **RF**：対象者は膝関節90度、股関節90度屈曲位の椅子座位にて保持し、検査者が下腿に対して膝屈曲方向へ力を加える。²⁶⁾

・ 2-4) Y Balance Test-Upper Quarter (YBT-UQ)到達距離の計測

YBT-UQは上肢と体幹の筋協調性を評価するテストである。YBT-UQは、Paulら(2012)のYBT-UQプロトコル¹⁶⁾を参考にYバランステストキット(Perform Better社製)を用いて行った。Yバランステストキットは、内側・上外側・下外側に3本の木製の棒が取り付けられたプラットフォームで構成され、各棒は計測用に1cm刻みでマークされている。小数点以下はメジャーを用いて計測した。対象者は棒に沿って非利き手でリーチボックスを押し、その最大到達距離を各方向のYBT-UQ到達距離とした。なお、最大到達距離を各対象者の上肢長で割ることで各到達距離の正規化を行い、上肢長あたりの到達距離を算出した(%LL)。上肢長の計測は、対象者を解剖学的立位肢位で立たせた状態でC7棘突起を特定した後、利き腕を90度外転させ、C7棘突起から中

指遠位端までの距離をメジャーで計測した。YBT-UQの成功試技の基準として、次の注意点を設けた。(1)両足・プラットフォームと支持する側の手(利き手)が、常に床に接触した状態で維持されていること。(2)リーチボックスを動かすためにボックスを弾くことや勢いをつけて押さないこと。(3)リーチボックスの上部などで体を安定させないこと。(4)試技中に手が地面に触れないこと(5)テスト終了時に非利き手を開始位置に戻すこと。両足幅は肩幅とし、肘伸展位のプランク姿勢からYBT-UQを開始した。対象者はMedial reach、Superolateral reach、Inferolateral reachの順にリーチボックスを押した(図1)。

・2-5)サスペンションエクササイズ介入

サスペンション器具(TRX, Fitness Anywhere, LLC 社製)を用いたサスペンションエクササイズの様子を図4に示す。対象者は膝立ち位および肩関節内転位の状態で、母指指尖部の高さに合わせたサスペンションデバイスのハンドルを握り、膝立ち位から肘関節伸展位で肩関節を180度まで屈曲させながら体幹を前方に傾斜させた後、膝立ち位に戻るという、競泳のバタフライに類似したエクササイズを実施した。対象者はメトロノームの60回/分のテンポに合わせ、3秒かけて前方に倒れ、肩関節最大屈曲になり3秒かけて開始姿勢に戻った。このエクササイズを10回3セット実施し、セット間の休憩は3分とした。本研究でのエクササイズを行うにあたって、肩関節の屈曲が十分であるかということ、体幹を屈曲した状態で開始姿勢に戻らないように、検査者がチェックした。

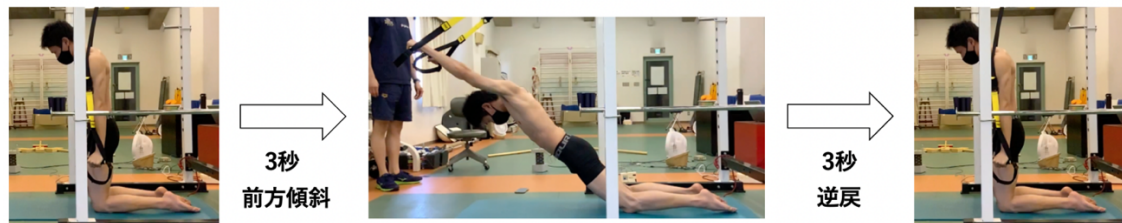


図4. サスペンションエクササイズ

・ 2-6) データ解析

・ 2-6-1) 筋活動量の算出

筋活動量の算出には生体情報解析ソフト(BIMUTAS-Video , KISSEI COMTEC 社製)を使用した。動作によって生じるモーションアーチファクトの影響を取り除くために、Band pass filterを20-450Hzに設定した。YBT-UQ時およびサスペンションエクササイズ時の各筋のデータは、MVIC試技中における最大となる1秒間の二乗平均平方根(RMS: Root Mean Square)で除し、正規化した。次にYBT-UQおよびサスペンションエクササイズを後述するphaseに定義し、phaseのRMS値を算出した(%MVIC)。サスペンションエクササイズは3セット目の10回の内、4~6回目の試技の平均値を算出し、対象者の代表値とした。

・ 2-6-2) YBT-UQ の Phase 分け

YBT-UQ各方向の最大到達距離に達し静止した時点からリーチボックスから手が離れるまでをMedial reach、Superolateral reach、Inferolateral reachと定義した(図1)。これらのphaseにおける各筋の%MVIC値を算出した。

・ 2-6-3) サスペンションエクササイズ筋活動解析

サスペンションエクササイズは肩関節最大屈曲をkeepした1秒間の各筋の % MVIC値を算出した(図5)。

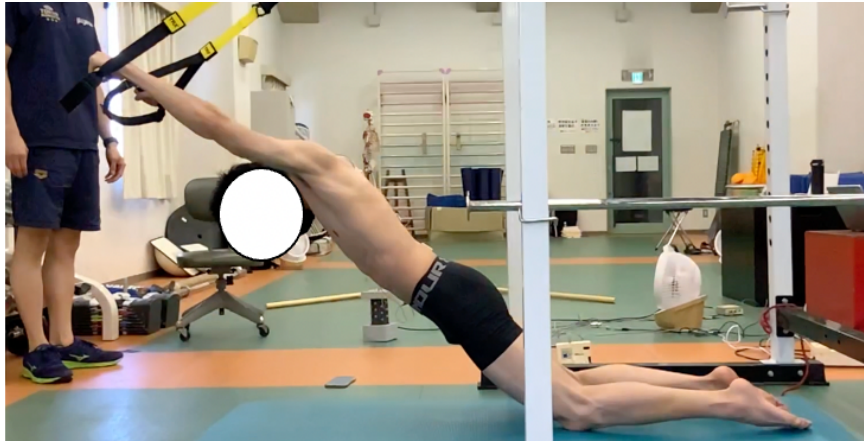


図5. サスペンションエクササイズ肩関節最大屈曲位

・ 2-7) 統計処理

統計処理には SPSS Statics27.0 (IBM 社製)を使用した。YBT-UQ 時の各筋の %MVIC 値および YBT-UQ 到達距離について、試技(YBT-UQ1 回目・YBT-UQ2 回目・YBT-UQ3 回目)を要因とする一元配置分散分析を実施した。事後検定には Bonferroni 法を用い、有意水準は 5%とした。一元配置分散分析の効果量として、 η^2 (小:0.01-,中:0.06-,大:0.14-)を算出した。サスペンションエクササイズ介入前後での変化量を比較するため、YBT-UQ 到達距離の YBT-UQ 到達距離のランキング化を行った。1 回目到達距離上位 5 名を「L 群」下位 5 名を「S 群」とし各到達距離の変化量を対応のない t 検定で比較した。有意水準は 5%とした。また、検定の効果量として Cohen の d 値(小:0.20-,中:0.50-,大:0.80-)を算出した。

第 3 節 結果

・ 3-1) サスペンションエクササイズ時の筋活動

肩関節最大屈曲位に達したサスペンションエクササイズ時の筋活動を図 7 に示す。本研究で行ったサスペンションエクササイズでは RA($127.7 \pm 66.4\%$ MVIC)、EO($97.4 \pm 81.3\%$ MVIC)、IO($84.3 \pm 21.7\%$ MVIC)の腹筋群の高い活動を示した。対照的に LT($6.1 \pm 6.3\%$ MVIC)、ES($4.3 \pm 2.3\%$ MVIC)、RF($4.6 \pm 4.6\%$ MVIC)は低い活動を示した。

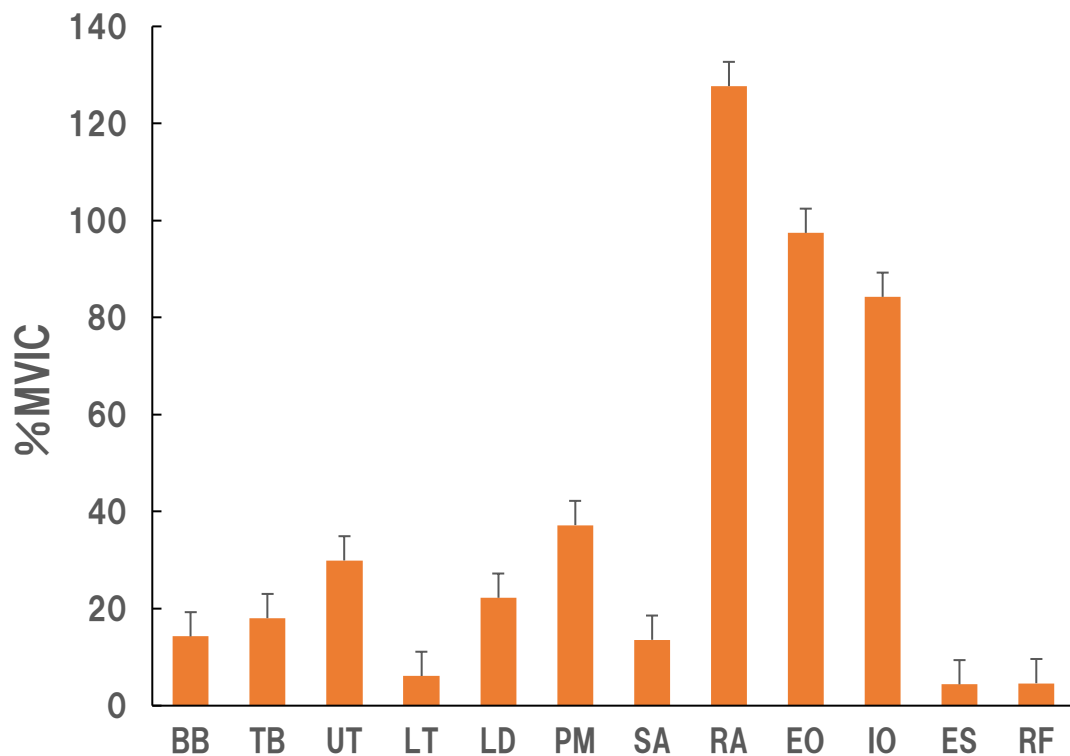


図 6. サスペンションエクササイズ時の筋活動 (Mean ± SD)

・ 3-2) Medial reach の各試技間における YBT-UQ 比較

・ 3-2-1) Medial reach 到達距離

Medial reach の試技間における到達距離の比較を図 7 に示す。Medial reach は、エクササイズ介入後である 3 回目 ($111.4 \pm 6.3\%LL$) において最大到達距離を示した。統計解析の結果、試技間に関する有意な主効果を示した ($p=0.001$ 、 $F_{(2, 28)}=2.888$ 、 $\eta^2=0.171$)。事後検定の結果、3 回目 ($111.4 \pm 6.3\%LL$) は 1 回目 ($107.4 \pm 6.5\%LL$) および 2 回目 ($108.7 \pm 5.5\%LL$) と比較して、有意に大きな到達距離を示した ($p=0.007$ 、 0.033)。

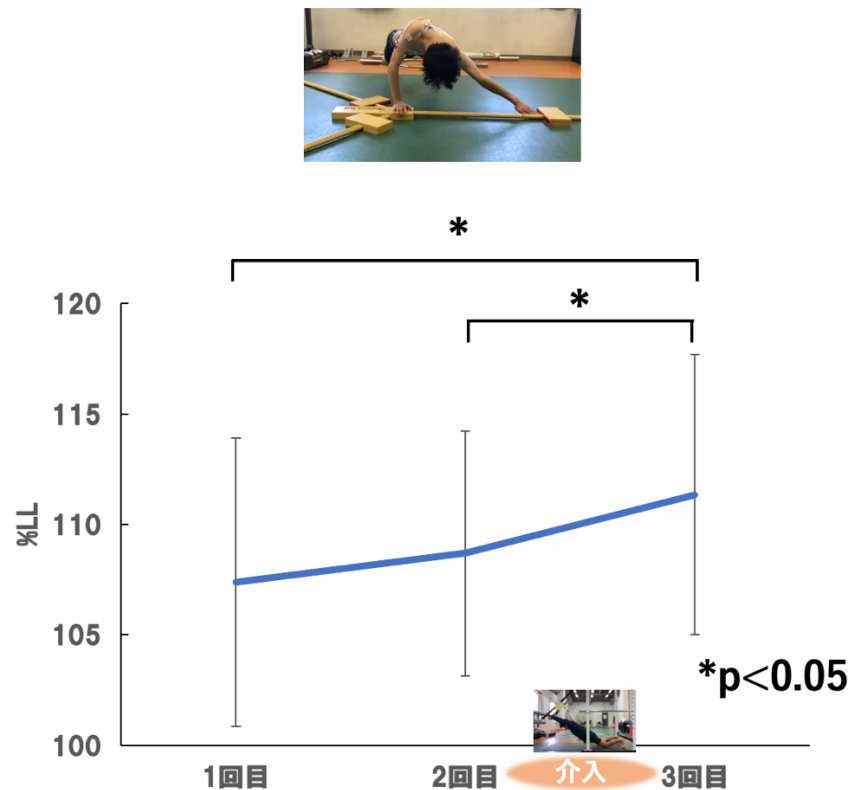


図 7. YBT-UQ Medial reach 到達距離の比較 (Mean $\pm$ SD)

・ 3-2-2) Medial reach における筋活動

Medial reach の試技間における筋活動比較を表 1 に示す。BB(上腕二頭筋長頭)・TB(上腕三頭筋外側頭)・UT(僧帽筋上部)・LT(僧帽筋下部)・PM(大胸筋)・SA(前鋸筋)・LD(広背筋)・RA(腹直筋)・EO(外腹斜筋)・IO(内腹斜筋)・ES(脊柱起立筋)・RF(大腿直筋)の全ての筋において、試技間の筋活動に有意な主効果を認めなかった。

表 1. Medial reach における筋活動比較 (Mean $\pm$ SD)

Medial reach						
筋活動(%MVIC)	1回目	2回目	3回目	p値	f _(2,28)	η^2
BB	11.9 $\pm$ 19.6	10.0 $\pm$ 10.7	12.5 $\pm$ 17.1	0.518	0.510	0.044
TB	82.1 $\pm$ 39.6	82.8 $\pm$ 32.4	83.7 $\pm$ 29.8	0.970	0.030	0.003
UT	10.6 $\pm$ 8.7	12.8 $\pm$ 12.0	16.7 $\pm$ 20.9	0.308	1.251	0.111
LT	17.3 $\pm$ 19.8	17.2 $\pm$ 18.2	22.5 $\pm$ 22.3	0.377	1.019	0.085
PM	53.4 $\pm$ 29.4	70.2 $\pm$ 44.3	71.5 $\pm$ 38.1	0.204	1.722	0.204
SA	105.8 $\pm$ 61.8	79.3 $\pm$ 36.2	80.1 $\pm$ 54.4	0.063	3.149	0.223
LD	15.9 $\pm$ 10.2	18.6 $\pm$ 11.0	12.2 $\pm$ 9.0	0.082	3.248	0.228
RA	28.6 $\pm$ 20.7	27.2 $\pm$ 17.0	36.4 $\pm$ 34.1	0.444	0.675	0.070
EO	58.6 $\pm$ 24.7	67.3 $\pm$ 27.0	60.9 $\pm$ 19.5	0.195	1.924	0.176
IO	24.9 $\pm$ 28.3	31.4 $\pm$ 32.0	49.6 $\pm$ 73.4	0.227	1.637	0.130
ES	4.4 $\pm$ 3.2	4.3 $\pm$ 2.5	8.2 $\pm$ 11.0	0.349	1.015	0.127
RF	8.9 $\pm$ 6.2	9.5 $\pm$ 6.8	10.1 $\pm$ 7.0	0.584	0.551	0.048

・ 3-2-3) Medial reach の試技間における変化量比較

Medial reach の 1 回目から 3 回目の変化量の比較を図 8 に示す。S 群 ($4.4 \pm 4.4\%$ LL) は L 群 ($2.8 \pm 4.0\%$ LL) と比較して大きな変化量を示した。統計解析の結果、L 群と S 群に有意な差を認めなかった。 ($p=0.577$ $d=0.368$)

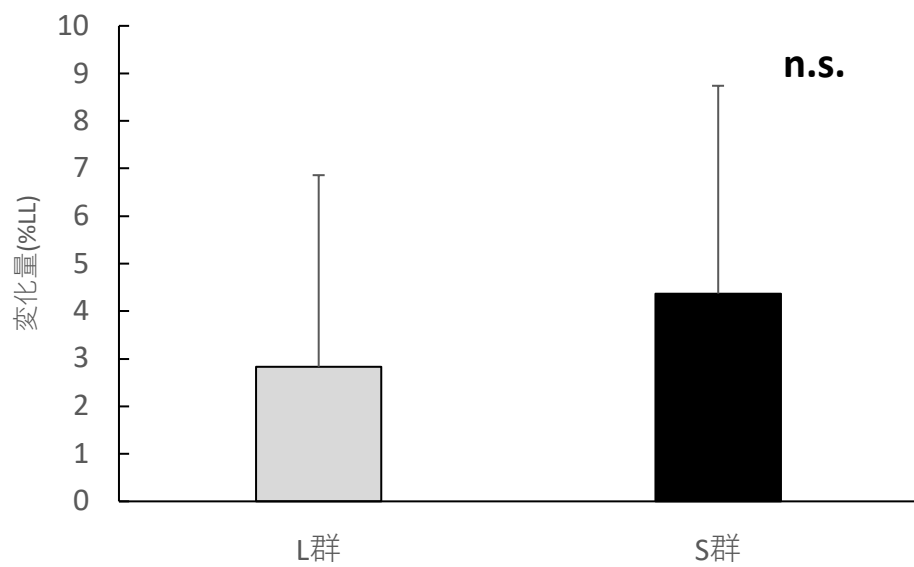


図 8. Medial reach L 群と S 群における 1 回目から 3 回目の変化量の比較 (Mean $\pm$ SD)

Medial reach の 2 回目から 3 回目の変化量の比較を図 9 に示す。L 群 ($2.2 \pm 4.4\% \text{ LL}$) は S 群 ($1.2 \pm 2.9\% \text{ LL}$) と比較して大きな変化量を示した。統計解析の結果、L 群と S 群に有意な差を認めなかった。 ($p=0.685$ $d=0.266$)

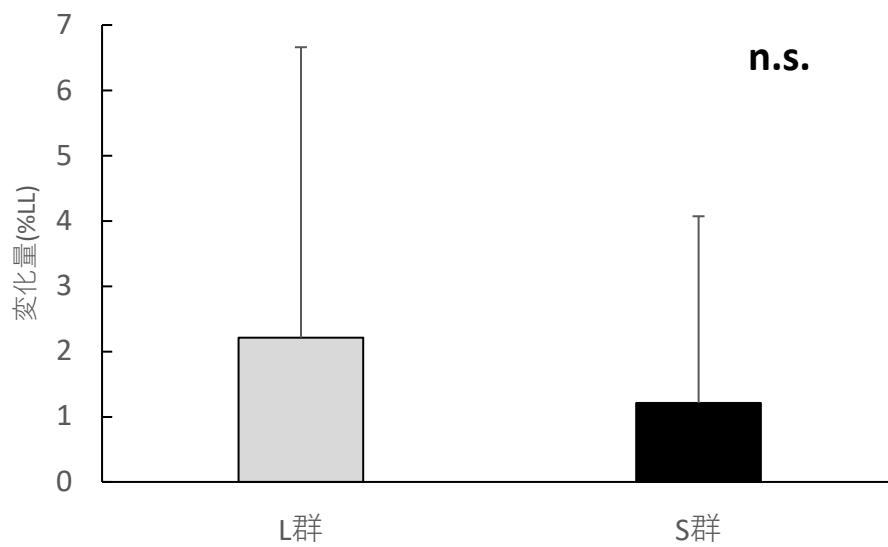


図 9. Medial reach L 群と S 群における 2 回目から 3 回目の変化量の比較 (Mean $\pm$ SD)

・ 3-3) Superolateral reach の各試技間における YBT-UQ 比較

・ 3-3-1) Superolateral reach 到達距離

Superolateral reach の試技間における到達距離の比較を図 10 に示す。Superolateral reach は、エクササイズ介入後である 3 回目 ($71.2 \pm 6.6\%LL$) において最大到達距離を示した。統計解析の結果、試技間に関する有意な主効果を認めなかった。

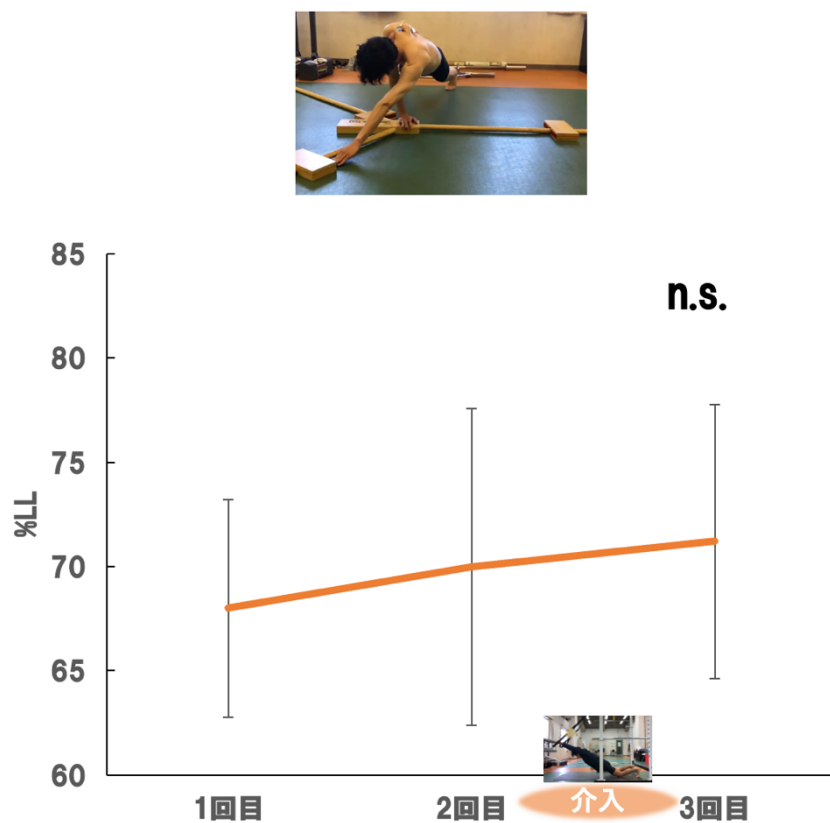


図 10. YBT-UQ Superolateral reach 到達距離の比較 (Mean $\pm$ SD)

・ 3-3-2) Superolateral reach の筋活動

Superolateral reach の試技間における筋活動比較を表 2 に示す。
TB(上腕三頭筋外側頭)・UT(僧帽筋上部)・LT(僧帽筋下部)・PM(大胸筋)・SA(前鋸筋)・LD(広背筋)・RA(腹直筋)・EO(外腹斜筋)・IO(内腹斜筋)・ES(脊柱起立筋)・RF(大腿直筋)の筋について、試技間の筋活動に有意な主効果を認めなかった。BB(上腕二頭筋長頭)について、試技間の筋活動に有意な主効果を認めたが($p=0.045$)、事後検定の結果、試技間の筋活動に有意な差を認めなかった(表 2)。

表 2. Superolateral reachにおける筋活動比較(Mean $\pm$ SD)

Superolateral reach						
筋活動(%MVIC)	1回目	2回目	3回目	p値	f _(2,28)	η^2
BB	6.4 $\pm$ 4.4	6.0 $\pm$ 4.6	6.8 $\pm$ 4.6	0.045	3.587	0.246
TB	109.4 $\pm$ 38.5	103.0 $\pm$ 33.8	113.1 $\pm$ 35.0	0.358	1.001	0.083
UT	26.0 $\pm$ 18.1	29.0 $\pm$ 24.8	34.0 $\pm$ 31.4	0.308	1.251	0.111
LT	11.0 $\pm$ 9.5	9.9 $\pm$ 10.3	13.1 $\pm$ 14.2	0.498	0.507	0.044
PM	64.8 $\pm$ 34.0	69.7 $\pm$ 41.3	68.3 $\pm$ 43.6	0.646	0.285	0.028
SA	50.7 $\pm$ 38.8	49.4 $\pm$ 36.1	49.5 $\pm$ 36.4	0.975	0.026	0.002
LD	20.0 $\pm$ 13.8	20.1 $\pm$ 10.8	20.2 $\pm$ 12.7	0.718	0.338	0.036
RA	61.4 $\pm$ 51.5	61.0 $\pm$ 48.6	61.3 $\pm$ 48.4	0.707	0.200	0.022
EO	54.6 $\pm$ 29.1	53.7 $\pm$ 16.5	60.3 $\pm$ 24.4	0.632	0.470	0.045
IO	34.6 $\pm$ 27.3	33.2 $\pm$ 22.0	56.8 $\pm$ 72.9	0.227	1.635	0.129
ES	6.7 $\pm$ 4.7	6.4 $\pm$ 5.8	7.1 $\pm$ 4.5	0.766	0.272	0.037
RF	15.2 $\pm$ 14.4	18.0 $\pm$ 14.0	18.3 $\pm$ 19.1	0.170	1.937	0.162

・ 3-3-3) Superolateral reach の試技間における変化量比較

Superolateral reach の 1 回目から 3 回目の変化量の比較を図 11 に示す。S 群 ($2.6 \pm 3.2\% \text{ LL}$) は L 群 ($0.4 \pm 6.3\% \text{ LL}$) と比較して大きな変化量を示した。統計解析の結果、L 群と S 群に有意な差を認めなかった。
($p=0.513$ $d=0.433$)

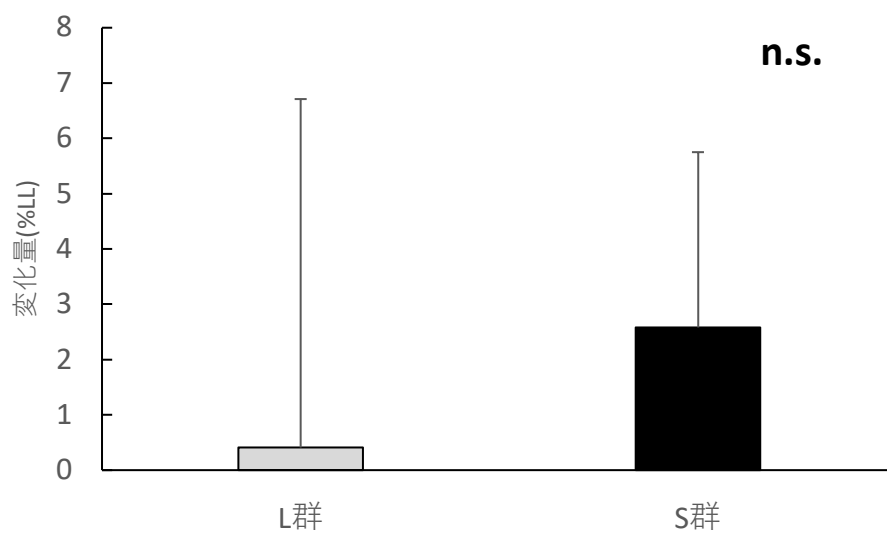


図 11. Superolateral reach L 群と S 群における 1 回目から 3 回目の
変化量の比較 (Mean $\pm$ SD)

Superolateral reach の 2 回目から 3 回目の変化量の比較を図 12 に示す。S 群 ($4.6 \pm 6.0\% \text{ LL}$) は L 群 ($-2.7 \pm 3.4\% \text{ LL}$) と比較して大きな変化量を示した。統計解析の結果、S 群は L 群と比較して有意に大きな値を示した。($p=0.045$ $d=1.053$)

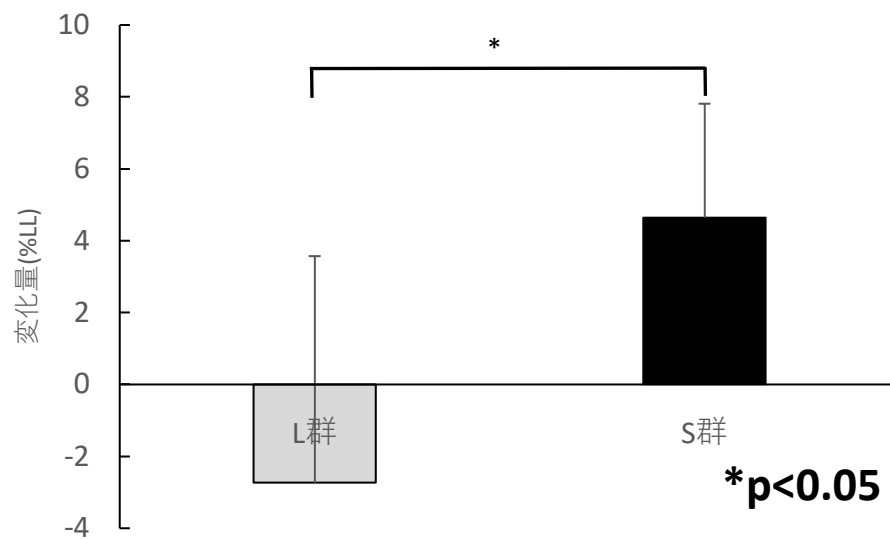


図 12. Superolateral reach L 群と S 群における 2 回目から 3 回目の変化量の比較 (Mean ± SD)

・ 3-4) Inferolateral reach の各試技間における YBT-UQ 比較

・ 3-4-1) Inferolateral reach 到達距離

Inferolateral reach の試技間における到達距離の比較を図 13 に示す。Inferolateral reach は、エクササイズ介入後である 3 回目 ($89.6 \pm 14.5\%LL$) において最大到達距離を示した。統計解析の結果、試技間に関する有意な主効果を示した ($p < 0.001$ 、 $F_{(2, 28)} = 12.497$ 、 $\eta^2 = 0.472$)。事後検定の結果、3 回目 ($89.6 \pm 14.5\%LL$) は 1 回目 ($83.3 \pm 16.5\%LL$) および 2 回目 ($81.1 \pm 16.4\%LL$) と比較して、有意に大きな到達距離を示した ($p = 0.012$ 、 0.003)。

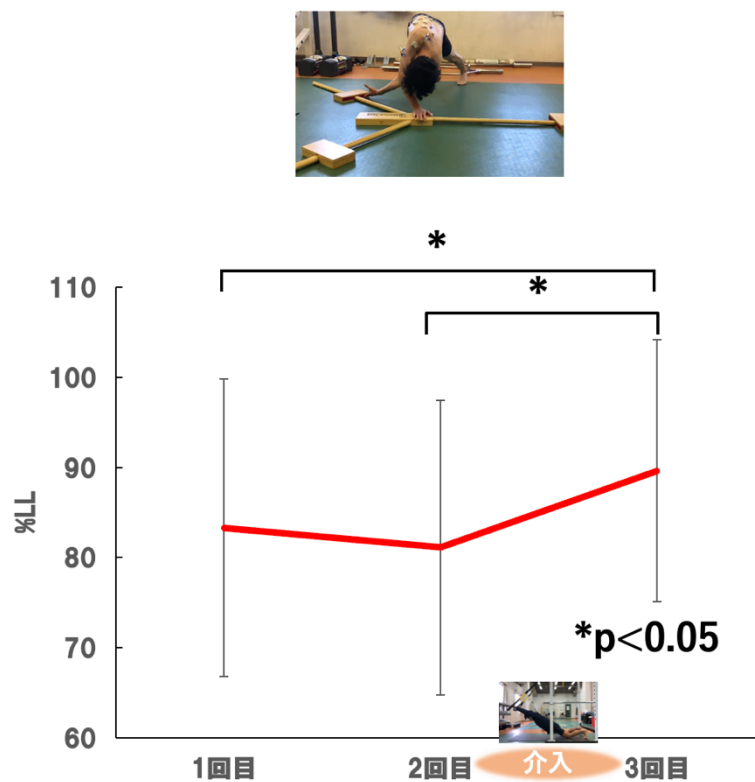


図 13. YBT-UQ Inferolateral reach 到達距離 の 比較 (Mean $\pm$ SD)

・ 3-4-2) Inferolateral reach の筋活動

Inferolateral reach の試技間における筋活動比較を表 3 に示す。BB (上腕二頭筋長頭)・TB(上腕三頭筋外側頭)・UT(僧帽筋上部)・LT(僧帽筋下部)・PM(大胸筋)・SA(前鋸筋)・LD(広背筋)・RA(腹直筋)・EO(外腹斜筋)・ES(脊柱起立筋)・RF(大腿直筋)の筋について、試技間の筋活動に有意な主効果を認めなかった。IO(内腹斜筋)について、試技間の筋活動に有意な主効果を認めたが($p=0.042$)、事後検定の結果、試技間の筋活動に有意な差を認めなかった(表 3)。

表 3. Inferolateral reachにおける筋活動比較(Mean $\pm$ SD)

Inferolateral reach						
筋活動(%MVIC)	1回目	2回目	3回目	p値	f _(2,28)	η^2
BB	7.4 $\pm$ 6.3	6.3 $\pm$ 4.5	10.3 $\pm$ 13.7	0.206	1.803	0.141
TB	125.7 $\pm$ 70.5	113.1 $\pm$ 64.1	132.2 $\pm$ 73.3	0.255	1.454	0.117
UT	40.9 $\pm$ 38.6	44.1 $\pm$ 40.9	45.0 $\pm$ 33.9	0.581	0.383	0.037
LT	14.5 $\pm$ 21.5	9.6 $\pm$ 14.4	13.7 $\pm$ 22.3	0.155	2.028	0.156
PM	50.6 $\pm$ 45.4	52.4 $\pm$ 42.5	64.3 $\pm$ 52.6	0.372	0.944	0.086
SA	96.3 $\pm$ 59.4	87.4 $\pm$ 31.7	84.4 $\pm$ 42.5	0.775	0.258	0.028
LD	17.7 $\pm$ 11.5	19.6 $\pm$ 13.9	20.6 $\pm$ 16.8	0.662	0.421	0.040
RA	64.5 $\pm$ 54.3	58.7 $\pm$ 50.3	67.0 $\pm$ 49.5	0.606	0.515	0.054
EO	48.9 $\pm$ 44.4	54.5 $\pm$ 35.3	52.3 $\pm$ 34.6	0.657	0.428	0.041
IO	73.0 $\pm$ 48.6	95.3 $\pm$ 60.4	115.8 $\pm$ 71.0	0.042	3.683	0.251
ES	10.1 $\pm$ 12.0	6.0 $\pm$ 3.2	11.5 $\pm$ 13.1	0.530	0.669	0.100
RF	31.3 $\pm$ 22.5	39.7 $\pm$ 26.9	40.6 $\pm$ 31.4	0.236	1.545	0.123

・ 3-4-3) Inferolateral reach の試技間における変化量比較

Inferolateral reach の 1 回目から 3 回目の変化量の比較を図 14 に示す。S 群 ($9.6 \pm 10.9\% \text{ LL}$) は L 群 ($3.5 \pm 4.0\% \text{ LL}$) と比較して大きな変化量を示した。統計解析の結果、L 群と S 群に有意な差を認めなかった。
($p=0.271$ $d=0.747$)

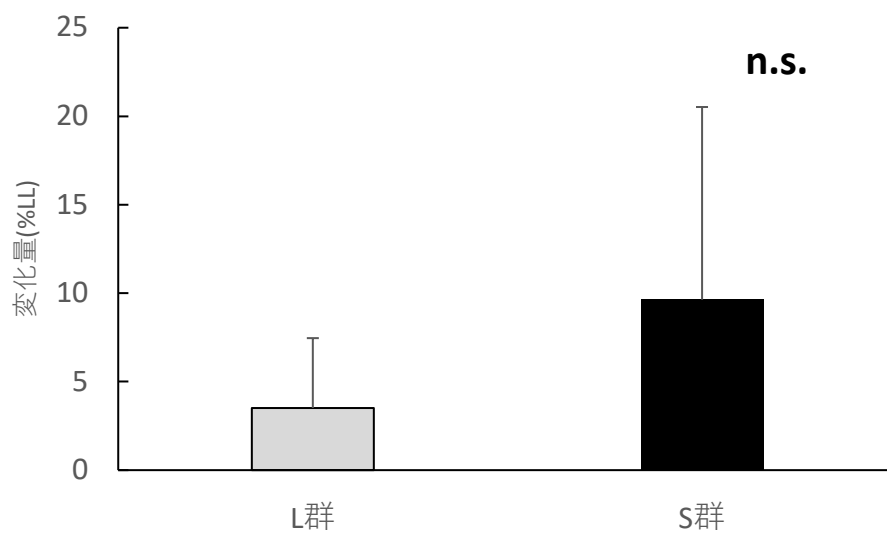


図 14. Inferolateral reach L 群と S 群における 1 回目から 3 回目の
変化量の比較 (Mean ± SD)

Inferolateral reach の 2 回目から 3 回目の変化量の比較を図 15 に示す。S 群 ($13.6 \pm 12.4\% \text{ LL}$) は L 群 ($5.7 \pm 3.12\% \text{ LL}$) と比較して大きな変化量を示した。統計解析の結果、L 群と S 群に有意な差を認めなかった。 ($p=0.207$ $d=0.869$)

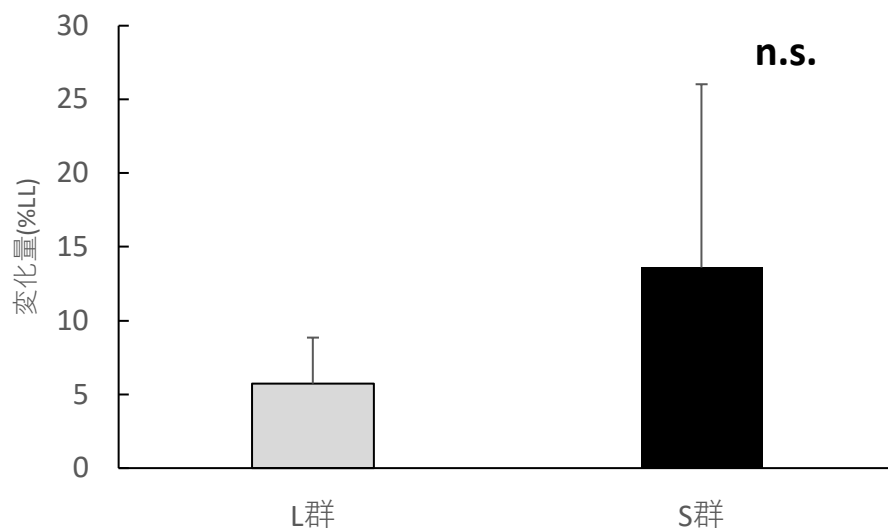


図 15. Inferolateral reach L 群と S 群における 2 回目から 3 回目の変化量の比較 (Mean $\pm$ SD)

・ 3-5) 複合 reach の各試技間における YBT-UQ 比較

・ 3-5-1) 複合 reach 到達距離

各方向への到達距離を合計した値を、複合 reach として到達距離を算出した。複合 reach の試技間における到達距離の比較を図 10 に示す。複合 reach は、エクササイズ介入後である 3 回目 ($274.4 \pm 21.8\%LL$) において最大到達距離を示した。統計解析の結果、試技間に関する有意な主効果を示した ($p < 0.001$ 、 $F_{(2, 28)} = 13.518$ 、 $\eta^2 = 0.491$)。事後検定の結果、3 回目 ($274.4 \pm 21.8\%LL$) は 1 回目 ($260.4 \pm 21.2\%LL$) および 2 回目 ($260.3 \pm 21.5\%LL$) と比較して、有意に大きな到達距離を示した ($p = 0.001$ 、 0.007)。

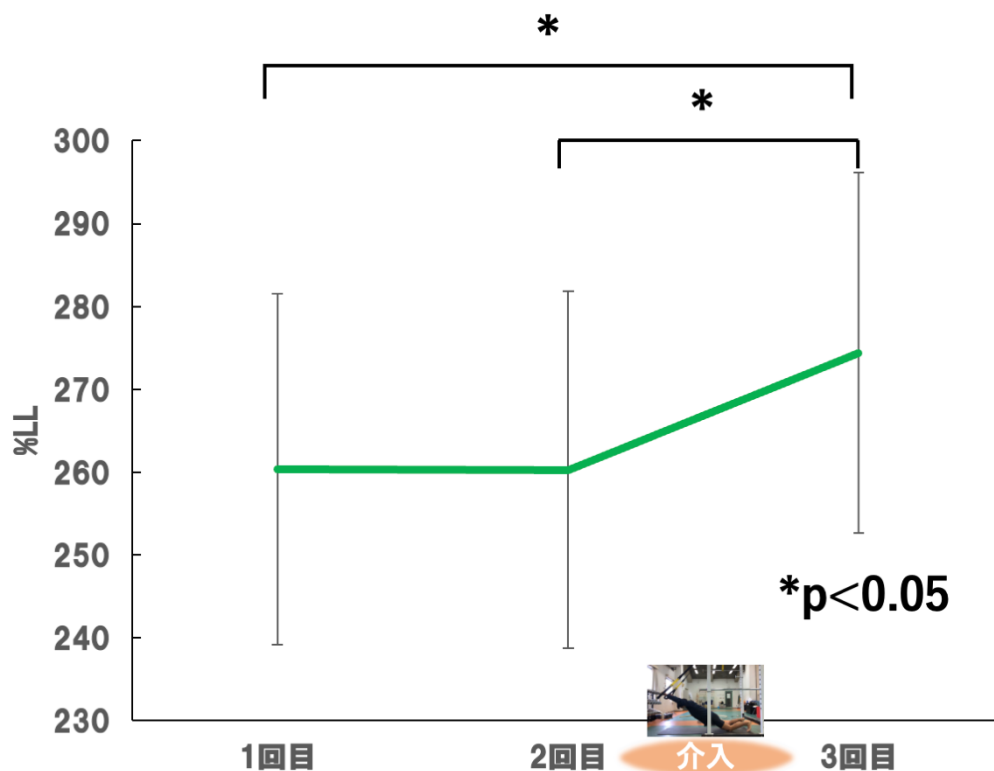


図 16. YBT-UQ 複合 reach 到達距離の比較 (Mean ± SD)

・ 3-5-3) 複合 reach の試技間における変化量比較

複合 reach の 1 回目から 3 回目の変化量の比較を図 17 に示す。S 群 ($21.4 \pm 9.1\% \text{ LL}$) は L 群 ($8.26 \pm 9.3\% \text{ LL}$) と比較して大きな変化量を示した。統計解析の結果、L 群と S 群に有意な差を認めなかった。($p=0.055$ $d=1.419$)

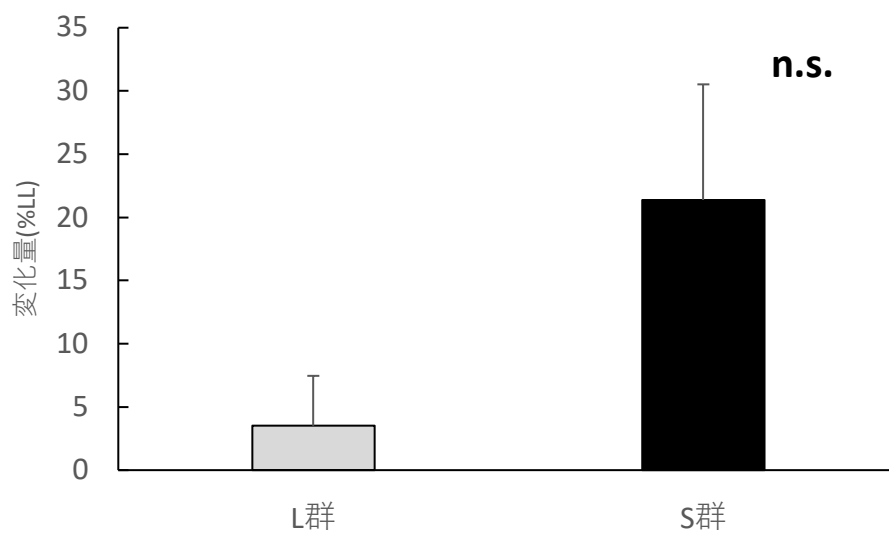


図 17. 複合 reach L 群と S 群における 1 回目から 3 回目の変化量の比較 (Mean ± SD)

複合 reach の 2 回目から 3 回目の変化量の比較を図 18 に示す。S 群 ($16.7 \pm 15.3\% \text{ LL}$) は L 群 ($6.3 \pm 11.6\% \text{ LL}$) と比較して大きな変化量を示した。統計解析の結果、L 群と S 群に有意な差を認めなかった。(p=0.259 d=0.769)

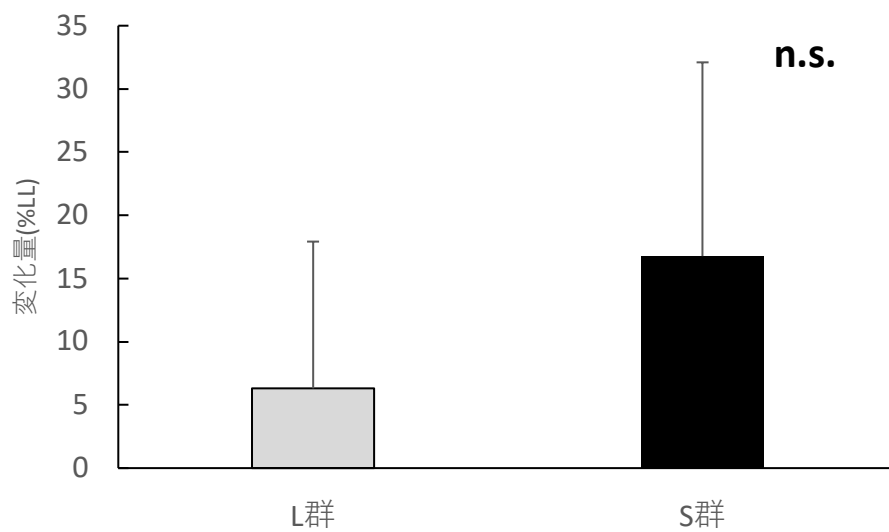


図 18. 複合 reach L 群と S 群における 2 回目から 3 回目の変化量の比較 (Mean $\pm$ SD)

第 4 節 考察

本研究は、YBT-UQ 到達距離および YBT-UQ 時の体幹・上肢筋群の筋活動にサスペンションエクササイズが与える即時的な影響を明らかにすることを目的とした。主な結果はサスペンションエクササイズの介入後である 3 回目の YBT-UQ において Medial reach、Inferolateral reach、複合 reach の到達距離が向上した。Superolateral reach ではどの試技においても到達距離に違いは見られなかった。また、筋活動ではどの試技間においても違いは見られなかった。

・ 4-1) サスペンションエクササイズと YBT-UQ 到達距離

大学オーバーヘッドアスリートを対象とした肩関節障害既往の有無で YBT-UQ 到達距離を比較した研究では、肩関節障害既往のある群において Superolateral reach での到達距離が低かったと報告した¹⁵⁾。また、肩峰下インピンジメントの有無で比較した研究では、肩峰下インピンジメントを有する対象者は Medial reach、Inferolateral reach において YBT-UQ 到達距離が低かったことを報告した。リハビリテーションにおいてクローズドキネティックチェーンエクササイズを取り入れるべきだとしている¹⁸⁾。本研究ではサスペンションエクササイズの介入後である 3 回目の YBT-UQ において Medial reach、Inferolateral reach、複合 reach の到達距離が向上した。YBT-UQ では、腹側を地面に向けた姿勢(push-up 姿勢)の状態です持基底面内の重心位置からリーチハンドを限界まで遠くへ到達させる動作が行われる。本研究で行ったサスペンションエクササイズにおいて、腹側を地面に向けた姿勢で支持基底面内の重心位置から上肢を遠ざける点が YBT-UQ と類似すると考え

る。このことから、適切な上肢と体幹筋群の協調性を獲得することができ、YBT-UQ 到達距離の向上につながったのではないかと考える。また、本研究では YBT-UQ 到達距離をランキング化し、1 回目到達距離上位 5 名を「L 群」下位 5 名を「S 群」とし各到達距離の変化量を比較した。その結果、Superolateral reach の 1 回目から 3 回目の変化量において S 群は L 群と比較して有意に大きな変化量を示した。各個人によって差はあるものの、トレーナビリティにも影響を与える可能性がある。

・ 4-2) YBT-UQ 時の筋活動

サスペンションエクササイズによって、YBT-UQ 試技間における筋活動に変化は無かった。本研究の介入は、筋活動を向上させるためにはエクササイズ量が不十分であった可能性がある。本研究のエクササイズ量である 10 回 3 セットは、競泳選手が陸上トレーニングとして練習前後で実施可能なエクササイズ量として採用した。腰椎椎間板ヘルニアの患者に 8 週間のサスペンションエクササイズを行った研究では、サスペンションエクササイズの介入後において、腹直筋と内腹斜筋の筋活動量が有意に高くなったことを報告した²⁷⁾。このことから、サスペンションエクササイズにおいて筋活動を変化させるためには数週間の介入が必要であると考ええる。また、標準偏差が大きかったことから対象者が普段実施していないエクササイズであったため、個人が採用する YBT-UQ 時の筋の戦略が異なると推察する。

・ 4-3) サスペンションエクササイズ時の筋活動

本研究では、競泳のバタフライにおけるキャッチからプッシュフェーズに類似したサスペンションエクササイズを行った。このエクササイズでは内腹斜筋・外腹斜筋・腹直筋といった腹筋群の高い筋活動を示した一方、脊柱起立筋は低い筋活動を示した。競泳選手を対象に肩関節障害既往の有無による体幹・上肢筋群の筋活動をシナジー解析した研究では、Swimmer's shoulder 群は Control 群と比較してキャッチ動作時に上肢筋群と脊柱起立筋の貢献度が高く、体幹安定性に関与する内腹斜筋・外腹斜筋・腹直筋の貢献度が低かったとされている¹⁰⁾。このことから、本研究で行ったサスペンションエクササイズは、体幹安定性に関与する内腹斜筋・外腹斜筋・腹直筋の高い活動を保ちながら、肩関節の屈曲・伸展動作を行うため、肩関節障害を発症しにくい泳動作の習得に貢献すると考える。以上のことから、競泳選手が練習前後に行う陸上トレーニングにおいて、サスペンションエクササイズを実施することによって、肩関節障害の予防に寄与する可能性がある。また、本研究で行ったエクササイズだけでなく、サスペンション器具を用いた複数の種目を組み合わせて長期的に行うことで、効果的な肩関節障害予防エクササイズとして用いることができると考える。

・ 4-4) 研究の限界

本研究の限界として、1つ目に本研究は健常者のみを対象としていたため、肩関節障害のある対象者においては異なる結果になる可能性がある。2つ目に、対象者が競泳選手ではなかったため、今後は競泳選手を対象とした実験実施が必要である。

第 5 節 結 論

本研究は、YBT-UQ 到達距離および YBT-UQ 時の体幹・上肢筋群の筋活動にサスペンションエクササイズが与える効果を検証した。サスペンションエクササイズを行うことで YBT-UQ の Medial reach・Inferolateral reach・複合 reach において到達距離が向上した。体幹・上肢筋群の筋活動に変化はなかったが、サスペンションエクササイズによって上肢および体幹筋群の協調性が向上したことで、到達距離の向上につながったと考える。このことから、競泳選手の陸上トレーニングにおいてサスペンションエクササイズを取り入れることによって肩関節障害の予防に寄与すると考える。今後は、サスペンションエクササイズが競泳選手の肩関節障害の予防効果について更に明らかにするための研究が必要である。

参考文献

- 1)Matsuura Y, Hangai M, et al. Injury trend analysis in the Japan national swim team from 2002 to 2016: effect of the lumbar injury prevention project., EMJ open Sports Exerc Med, 5(1), 2019
- 2)Heinlein SA, Cosgarea AJ, et al. Biomechanical Considerations in the Competitive Swimmer's Shoulder. Sports Health. 2010;2(6):519-525.
- 3)Matzkin E, Suslavich K, et al. Wes D. Swimmer's shoulder: painful shoulder in the competitive swimmer. J Am AcadOrthop Surg. 2016; 24: 527-536.
- 4)Gaunt T, Maffulli N, et al. Soothing suffering swimmers: a systematic review of the epidemiology, diagnosis,treatment and rehabilitation of musculoskeletal injuries in competitive swimmers. Br Med Bull, 2012;103: 45-88.
- 5)Kennedy JC. Swimmer's Shoulder. Phys Sportsmed.1974;2:34-38.
- 6)Hill L, Collins M. Risk factors for shoulder pain and injury in swimmers: A critical systematic review. Physician and Sports medicine. 2015;43(4):412-420.
- 7)Matzkin E, Suslavich K, Wes D, et al. Swimmer's shoulder: Painful shoulder in the competitive swimmer. Journal of the American Academy of Orthopedic Surgeons.2016;24(8):527-536
- 8)Pink MM, Tibone JE. The painful shoulder in the swimming athlete. Article. Orthopedic Clinics of North America. 2000;31(2):247-261.
- 9)Joffrey Drigny, Antoine Gauthier, et al. Shoulder Muscle Imbalance as a Risk for Shoulder Injury in Elite Adolescent Swimmers. Journal of Human Kinetics. 2020;(75):103-113.
- 10) 松浦由生子. 競泳選手の運動器障害発生要因の解明－予防への提言－, 2020年度早稲田大学博士論文, 2020.
- 11) Saeterbakken AH, Tillaar RVD, et al. Effect of core stability training on throwing velocity in female handball players. The Journal of Strength and Conditioning Research. 2011;25(3): 712-718.
- 12) Snarr RL, Hallmark AV, et al. Electromyographical comparison of pike variations performed with and without instability devices. Journal of Strength and Conditioning Research. 2016;30(12): 3436–3442.
- 13)Atsushi Imai, Koji Kaneoka, et al. Trunk Muscle Activity During Lumbar Stabilization Exercises on Both a Stable and Unstable Surface. Journal of Orthopadic sports physical therapy. 2010;(40)6: 369-375.

- 14) Norambuena Y, Winkler L, et al. 5-week suspension training program increase physical performance of youth judokas. 2020; 39: 137-142.
- 15) Youngwook Kim, Jung-Min Lee, et al. Comparison of shoulder range of motion, strength, and upper quarter dynamic balance between NCAA division I overhead athletes with and without a history of shoulder injury. *Physical Therapy in Sport*. 2020; 42: 53-60.
- 16) Paul P, Gorman. Robert J. Butler, et al. Upper Quarter Y Balance Test: Reliability and Performance Comparison Between Genders in Active Adults. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2012; (26)3043-3048.
- 17) Robert Butler, Jennifer Arms, et al. Sex Differences in Dynamic Closed Kinetic Chain Upper Quarter Function in Collegiate Swimmers. *Journal of Athletic Training*. 2014; (49)442-446.
- 18) Zeynep Hazar, Naime Ulug, et al. Upper Quarter Y-Balance Test Score of Patients with Shoulder Impingement Syndrome. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2014; (11)2
- 19) Hermens HJ, Freriks, et al. Recommendations for surface electromyography. *Roessingh research and development*. 1999; 8(2):13-54.
- 20) Okubo Y, Kaneoka K, et al. Electromyographic analysis of transversus abdominis and lumbar multifidus using wire electrodes during lumbar stabilization exercises. *J Orthop Sports Phys Therapy*. 2010; 40(11):743-50.
- 21) Ng JK, Kippers V, Richardson CA. Muscle fibre orientation of abdominal muscles and suggested surface EMG electrode positions. *Electromyography Clin Neurophysiol*. 1998; 38(1): 51-8.
- 22) 久保田 錬. 投球動作における前腕筋群の筋活動解析-日米のプロ野球公認球間の比較. 早稲田大学スポーツ科学研究科2019年修士論文
- 23) Kibler, W. B. Sciascia, A. D. Uhl, et al. Electromyographic analysis of specific exercises for scapular control in early phases of shoulder rehabilitation. *Am. J. Sports Med*. 2008; 36 (9): 1789-98.
- 24) SENIAM, <http://www.seniam.org/>
- 25) 中村 幸次. 重量挙げ動作時の筋活動解析-第1肋骨疲労骨折の発生機序解明に向けて. 早稲田大学スポーツ科学研究科2019年修士論文
- 26) 高木 紀文. 体幹筋エクササイズ介入が打撃動作時の腰部挙動および体幹・下肢筋群の筋活動に与える影響. 早稲田大学スポーツ科学研究科

2019年修士論文

- 27) Yasser Mohebbi Rad, Mohammad Reza Fadaei Chafy, et al. Is the novel suspension exercises superior to core stability exercises on some EMG coordinates, pain and range of motion of patients with disk herniation?. Sports Science for Health. 2021: 1-11.

謝 辞

修士論文の執筆に際し、ご指導・ご協力いただいた多くの方々に心から感謝申し上げます。

早稲田大学スポーツ科学学術院教授、金岡恒治先生には大学院入学時から 2 年間ご指導いただき、研究内容についてだけでなく人との関わり方や表現の仕方など多くのことを学ばせていただきました。また、水泳の技術や体作りに関するお話もすることができ、とても楽しく充実した時間を過ごすことができました。オリンピックや臨床のお話を聞くことができたのは貴重な経験でした。2 年間ありがとうございました。今後とも宜しくお願いいたします。

早稲田大学スポーツ科学学術院教授、広瀬統一先生、准教授、平山邦明先生には副査を快く引き受けてくださり、本修士論文をより良いものにするため、多くの助言をいただきましたことに心からお礼申し上げます。

本研究の対象者を快く引き受けてくださった皆様にも感謝申し上げます。本研究の対象者という範囲にとどまらず様々な場面で関わりを持つことができ、新しい価値観や学びを得ることができました。それに加えて、苦しい時に励まし合ったり研究について話したりできる仲間が研究室外にできたことは私の中で大変良い経験になりました。皆様の今後のご活躍を祈念しております。

金岡研究室の皆様にも大変お世話になりました。早稲田大学スポーツ科学学術院助教、押川智貴先生には研究のことはもちろん、発表スライドや文章構成の基礎などもご指導いただきました。社会に出てからも必須になるスキルをご指導いただいたことを大変感謝しています。

飴と鞭の指導で厳しい面もありつつ、時には優しい押川さんのご指導で大きく成長することができたと感じております。招聘研究員の阿久澤弘先生には研究についてご助言いただきありがとうございました。優しい阿久澤先生のご助言に何度も救っていただきました。同期である土定寛幸さん、松本美瑛さんには入学時から大変お世話になりました。優秀な2人についていこうと必死になって成長することができたと思います。コロナ禍で直接人と関わるのが少なく、不安な中で2人の存在はとても大きかったです。心よりお礼申し上げますと共に、今後のご活躍をお祈りいたします。

金岡研究室の先輩・後輩の皆様、ここには書ききれなかった2年間の修士課程で関わってくださった全ての方々にお礼申し上げますと共に今後のご活躍を祈念いたします。

最後に、修士課程進学に理解を示し、いつも応援してくれている家族に心より感謝を申し上げますと共にこれからも元気でいてくれることを願っています。

2022年1月1日

松下 大輝