

投球における肩関節複合体の  
最大外旋可動域と加速期時間が  
肘最大外反負荷に与える影響

スポーツ科学研究科 スポーツ科学専攻

学籍番号 219M04

氏 名 岡 幸典

指導教員 下河内 洋平 教授

# 論文内容の要旨

論文題目 投球における肩関節複合体と加速期時間が肘外反負荷に与える影響

学籍番号 219M04

氏 名 岡 幸典

指導教員 下河内 洋平

**研究目的:** 野球競技における投球時の肘外反負荷(以下 PEVT)の増大は、投球肘障害である肘内側側副靱帯(以下 UCL)損傷の危険因子である。投球障害の予防には肩関節複合体の可動域向上が重要とされているが、投球中の肩関節複合体の可動域と PEVT の関係はまだ不明な点が多い。本研究の第一の目的は、肩関節複合体の可動域向上エクササイズ介入が投球中の肩関節の最大外旋可動域(以下 MER), 加速期時間, および PEVT へ及ぼす即時的効果を検証することとした。第二の目的は、投球中の MER, 加速期時間, 球速と PEVT との関係性を検証することとした。

**研究方法:** 男性の大学硬式野球部投手 10 名(年齢  $18.8 \pm 0.6$  歳, 身体質量  $72.5 \pm 12.1$ kg, 身長  $1.76 \pm 0.07$ m)が実験に参加した。対象者は実験室内でフォームローラーや動的ストレッチングを中心とした介入エクササイズの実施前後に、15 球ずつ全力で直球の投球を行った。投球動作は三次元動作解析システムを用いて運動学的データを測定し、投球速度, MER, 加速期時間, PEVT の各変数を算出した。

**結果:** 介入エクササイズ実施前後の各変数の差を検証したところ、全ての変数に有意差は見られなかった。被験者間データにより MER, 加速期時間, PEVT の関係性を検証した結果、いずれの変数間においても有意な相関関係が見られなかった。被験者ごとに PEVT を従属変数とした重回帰分析を行った結果、全員が球速と PEVT に有意な正の関係性が示されたが、MER および加速期時間の PEVT に対する関係性には一定の傾向は示されなかった。

**結論:** 分析の結果、肩関節複合体の可動域向上エクササイズ介入は、MER, 加速期時間, 球速, PEVT のいずれにおいても即時的効果を示さなかった。さらに、投球中の MER や加速期時間と PEVT の間に一定の関係性は見られず、球速の上昇のみが PEVT 増大と有意な高い関係性が示された。以上の結果から、肘関節の投球障害の予防においては、肩関節複合体の可動域向上のみ行うのではなく、球速に頼らない投球法の開発や投球数、試合数の制限等、様々な障害対策を行う事が重要である。

英文タイトル The effect of increased shoulder joint external rotation and acceleration time on elbow valgus loading during pitching

英文氏名 Yukinori Oka

## 目次

Abstract .....	2
I. 緒言 .....	4
II. 方法 .....	8
II-1. 被験者 .....	8
II-2. 実験プロトコル .....	8
II-3. 肩関節複合体の可動域拡大エクササイズ .....	8
II-4. 三次元動作解析方法 .....	9
II-5. 統計解析 .....	10
III. 結果 .....	11
IV. 考察 .....	12
V. まとめ .....	16
VI. 現場への示唆 .....	17
VII. 謝辞 .....	18
参考文献	
図表	

## Abstract

**PURPOSE:** Although increasing shoulder complex range of motion has been considered as a method of preventing ulnar collateral ligament (UCL) injuries, the relationship between the shoulder complex range of motion and Peak Elbow Varus Torque (PEVT) during pitching is still unclear. This study firstly examined the immediate effects of an exercise intervention to increase shoulder complex range of motion on the Maximum shoulder External Rotation (MER), acceleration time during pitching, and PEVT during pitching. Secondly, the relationships among the MER, acceleration time, ball velocity, and PEVT during throwing were also examined.

**METHODS:** Ten male college baseball pitchers (age  $18.8 \pm 0.6$  years, weight  $72.5 \pm 12.1$  kg, height  $1.76 \pm 0.07$  m) participated in the study. Subjects threw 15 fastball at full speed each before and after the implementation of the intervention exercises focusing on foam rollers and dynamic stretching exercises in the laboratory. The throwing motions were captured using a three-dimensional motion analysis system to measure kinematic and kinetics data. Throwing velocity, MER, acceleration time, and PEVT were then calculated.

**RESULTS:** Paired-sample t tests revealed that no significant differences were found for all variables between before and after the intervention exercises. Interclass correlation analyses showed no significant relationship among MER, acceleration time, and PEVT. Multiple regression analyses for each subject showed significant positive relationship between ball speed and PEVT, but the relationships of MER and acceleration time with PEVT showed no

consistent trend.

**CONCLUSION:** Results showed that the shoulder complex range-of-motion exercise intervention did not immediate effects on MER, prolong acceleration time, and PEVT and that the PEVT was only strongly related with ball velocities. These results suggest that limiting the number of pitching and participations in baseball games during a season is more important than increasing shoulder complex range of motion to prevent UCL injuries.

## 1. 緒言

近年、野球競技において投球障害の一つである肘の内側側副靱帯(Ulnar Collateral Ligament :以下 UCL)損傷が増加し問題となっている。米国野球プロリーグである MLB においては UCL 再建術の件数が 2000 年代前半に大幅に増加し、ここ 10 年でメジャー・マイナーリーグを含め 500 名以上の選手が再建術を受けている。2012 年には MLB 選手だけで 36 名もの選手が手術を行っており<sup>1)</sup>、Conte et al.(2015)は MLB 投手の 25%もの投手が UCL 再建術を経験していると報告している<sup>2)</sup>。UCL 再建術を受けてから平均競技復帰期間は  $19.8 \pm 13.5$  カ月と報告されており<sup>3)</sup>、各球団にとってリハビリ期間を含めた選手の長期間の試合出場機会減少による金銭的な損失が問題になっている<sup>4)</sup>。また青少年期の野球競技においても UCL 損傷が増加しているという報告があり<sup>5,6)</sup>、競技期間の短い学生において UCL 再建術による長期間の競技離脱は、なおさら大きな時間的損失となる。これは将来性のある選手の競技続行の断念に繋がる可能性もある大きな問題となりうる。これを防ぐために UCL 損傷を起こさないよう予防すること自体が非常に重要である。しかし、投球数の厳密な管理や休養期間の確保、様々なケア等で損傷を予防する取り組みが行われている MLB においても、2021 年の手術件数が 32 件と依然として大きく減少するには至っていないのが現状である<sup>1)</sup>。

UCL は肘の内側(尺側)部に位置し、肘に掛かる外反負荷に抵抗する安定機構としての役割を持っている<sup>7)</sup>。屍体の研究で UCL 単体の破断トルクは  $34.0 \pm 6.9$  Nm であることが明らかにされている<sup>8)</sup>。また、ハイアマチュアからプロレベルにおいて直球投球時には 64～120Nm という非常に大きな肘外反負荷に抵抗する最大肘内反トルク(Peak Elbow Varus

Torque :以下 PEVT) が, 肘全体に対して掛かることが多くの先行研究によって報告されている<sup>9,10,11,12)</sup>. 投球時の PEVT の発生タイミングは, 投球側の肩最大外旋(Maximum External Rotation :以下 MER) 時前後と先行研究で報告されており<sup>9,10)</sup>, MER 時の肘屈曲角度に近い 90 度位での UCL の肘外反スタビリティへの貢献は 55%とされている<sup>13)</sup>. これらの情報を整理すると, 肘全体に掛かる PEVT の 55%である 35.2~66 Nm が UCL 単体に直接かかっている計算になり, UCL 破断を起こす 34.0 Nm を超える負荷が直球投球毎に掛かっていることが推測される. 不足分の強度については前腕屈筋群の寄与が指摘されているが<sup>14)</sup>, 破断を完全に防げるほどの力を発生しているのかは明らかになっていない. 野球競技の選手を対象とした調査では, Anz et al.(2010)が MLB 投手を対象とした前向き研究において, 高い PEVT が UCL 損傷のリスクを上昇させると結論付けている<sup>15)</sup>. Bulllock et al.(2021)のシステマティックレビューにおいても PEVT の増大がエビデンスレベルの高い投球肘障害の要因として挙げられている<sup>16)</sup>. 近年の研究では UCL 損傷と球速との関わりが非常に高いことが指摘されており, 複数の研究で球速の高い投手の UCL 損傷が多いことが報告されている<sup>17,18,19,20)</sup>. これを裏付けるように, 近年の MLB 投手の平均球速の上昇が UCL 損傷の増加に繋がっているという指摘があり<sup>21)</sup>, Reiman et al.(2019)のシステマティックレビューでもエビデンスレベルの高い損傷要因として投球速度の高さを挙げている<sup>22)</sup>. これらの情報を整理すると, 近年の投手の球速向上が PEVT 増大の要因となり, UCL 損傷の増加へと繋がっているのではないかと考えられている.

球速と PEVT の相関関係を検討したバイオメカニクス研究では, 被験者間の相関分析において球速と PEVT に有意な正の相関( $R^2 = 0.373, p < .01$ )があったという Hurd et al.(2012)

の報告<sup>23)</sup>や相関関係が見られなかった( $R^2 = 0.040$ ,  $p = .053$ )という Post et al.(2015)の報告があり、一致した見解が得られていない。Post et al.(2015)は被験者間の相関では各被験者の個体差や異なる投球メカニズムなど交絡因子によって、球速と PEVT の相関が見られなかったのではないかと指摘している<sup>24)</sup>。そこで Slowik et al.(2019)の研究では統一した個体や投球メカニズムを有する被験者ごとの相関分析を行うことで、球速と PEVT に非常に強い正の相関関係( $R^2 = 0.957$ ,  $p < .001$ )があることを明らかにした。つまり球速の向上を目指すことが PEVT の増大を引き起こし、UCL 損傷の要因になると結論付けている。しかし、この研究の結果を被験者別にみていくと必ずしも全員が球速の上昇により PEVT 増大が起こっているわけではなく、中には球速上昇とともに PEVT の減少が起こっている者も見られる<sup>25)</sup>。また、投手にとって球速の維持が投手のパフォーマンスのために重要な要素であることは明確である。つまり競技パフォーマンスと障害予防の両観点から考えると、球速を維持しつつ PEVT を低減させる投球を目指すことが肝要となる。

投球障害の予防策を考える上では、以前から肩関節複合体の可動域の維持・向上の重要性が指摘されている。Sakata et al.(2017)は少年野球選手を対象としたコホート研究で、肩関節複合体を含む全身の可動域向上やバランスの向上を目的としたエクササイズ介入群とコントロール群を比較して、介入群の投球障害発生率が有意に低下したことを報告している<sup>26)</sup>。また、Shitara et al.(2017)は高校生を対象とした前向き介入研究で、肩関節のストレッチを行った群が行わなかった群に比べ有意に投球障害の発生率が低かったと報告している<sup>27)</sup>。しかし、肩関節複合体の可動域と UCL 損傷の関係について調べた研究ではまだ不明な点が多く、コンセンサスが得られていない<sup>28,29,30,31)</sup>。



そこで投球を物理学的観点から考え、PEVT を減少させる方法を考えていく。野球競技における投球とは決められた質量のボールを投球方向に力積を加えていく動作であり、ボールに加えた力積の大きさが結果的に球速として現れる。力積は物体に加えた力と力を加えた時間の積であるので、ボールを加速させる時間（以下、加速期）が短いと、球速を維持しようとした場合、投球方向へボールに加える力を大きくしなければならない。これは身体に掛かる負荷が上がることに繋がる。反対に加速期の時間を延長することで、ボールに加える力を減少(≡身体に掛かる負荷を低減)させながら、球速を維持できる可能性が考えられる。先行研究において投球中の加速期は MER からボールリリースの間とされている<sup>10,11,32)</sup>。MER の定義は体幹と前腕のなす角度とされており<sup>33)</sup>、この角度を拡大することにより加速期に掛かる時間をより多く稼げる可能性が考えられる。宮下ら(2009)は MER を構成する関節を肩甲骨関節、肩甲骨胸郭関節、胸椎の複合した可動域だとしており<sup>34)</sup>、金谷ら(2004)が定義している肩甲骨、鎖骨、上腕骨で構成される肩関節複合体<sup>35)</sup>を全て含めている。肩関節複合体の可動域向上エクササイズにより投球中の MER 可動域拡大が起これば、加速期時間の延長に繋がり、PEVT の減少が起こる可能性が考えられる。しかし、このようなエクササイズ実施によって実際に投球中の MER 拡大や加速期時間の延長、そして球速の低下を起こさずに PEVT が減少するかを検証した介入研究は存在しない。

そこで本研究は第一の目的として肩関節複合体の柔軟性向上を目的としたエクササイズ介入が投球中の MER や加速期時間、PEVT の各変数に与える効果を検証した。第二の目的として投球時の MER と加速期時間、加速期時間と PEVT の相関を被験者間および被験者ごとに相関分析を行い、仮説で立てたメカニズムが正しいかを検証した。

## II. 方法

### II-1. 被験者

対象は大学硬式野球部所属の投手 10 名で、投球方法は上手投げのみ、投球側は左右問わなかった(右投げ 8 名, 左投げ 2 名). 競技経験は硬式・軟式野球問わず 3 年以上の者とし、実験時に投球を制限される様な傷害を有する者は除外した. 被験者の年齢は  $18.8 \pm 0.6$  歳, 身体質量  $72.5 \pm 12.1$ kg, 身長  $1.76 \pm 0.07$ m であった. また, 事前のヒアリング調査では肘の投球障害の既往歴を持った被験者は 10 名中 3 名であった. 本研究は事前に大阪体育大学研究倫理審査部会の承認を得た(承認番号 21-6). 被験者には実験前に本研究の目的や測定内容, 実験時のリスクについて説明を行い, 同意を得てから実験を行った.

### II-2. 実験プロトコル

被験者は実験前に練習や試合時に行っている普段通りのウォーミングアップを十分に行った. 先に実験の説明を行い, 実験の同意を得た後, 薄手の半袖TEEシャツとハーフパンツに着替えた. 着替え後に身長と体重を測定し, 反射マーカがついた剛体マーカをテープングで貼付・固定した. マーカ貼付後, 被験者キャリブレーションを行い, その後投球を開始した. 先に投球練習として 6 割と 8 割の努力度合いで直球を各 5 球ずつ投球し, その後, 直球の全力投球を 15 投球行い, これを計測した. 15 球を投球後, 肩関節複合体の可動域拡大エクササイズによる介入を行った. 介入後, 再び直球の全力投球を 15 球行い, これを計測した.

### II-3. 肩関節複合体の可動域拡大エクササイズ

肩関節複合体の可動域拡大エクササイズは Scapular Arch Exercise with Foam roller,

Thoracic Rotation with Medicine Ball, Thoracic Rotation with Medicine Ball の 3 種を 30 回ずつ行った。

Scapular Arch Exercise with Foam roller(図 1-a)：肩関節複合体の外旋・外転の可動域向上を目的としたエクササイズで、スタート姿勢は仰臥位で胸下部にフォームローラーを当てた状態で、両腕を前に伸ばし肩甲骨外転位とした。次に肩甲骨内転位まで両肘を降ろし、ここから肩関節外旋を最大位まで行った。最大外旋位から両肩を最大外転位まで外転するところまでを 1 セットとし、これを 30 回行った。

Thoracic Rotation with Medicine Ball (図 1-b)：肩関節複合体の水平外転と胸椎回旋可動域向上を目的としたエクササイズで、右腕で行う場合、スタート姿勢は左脚を前にしたランジ姿勢から右手下垂位で 1kg メディシンボールを持ち、ボールの重みを利用して胸部を目いっぱい右方向に回旋した。これを左右両側 30 回ずつ行った。

Maximum External Rotation Exercise with Medicine Ball (図 1-c)：肩最大外旋可動域向上を目的としたエクササイズで、投球側の手に 1 kg メディシンボールを持ち、ボール保持しながらゆっくり投球動作を行った。ボールの重みを利用して、特に最大外旋位で肩と胸部のストレッチを意識しながら、投球側のみエクササイズを 30 回行った。

#### II - 4. 三次元動作解析方法

投球動作は 16 台の赤外線カメラ(OptiTrak PrimeX 13)を用いてサンプリング周波数 240Hz で撮影し、赤外線カメラで得られた剛体マーカーの 3 次元座標値を 4 次の Butterworth フィルターの遮断周波数 15Hz で平滑化した。運動学・運動力学の各変数の算出は動作解析システム(Innovative Sports Training 社, The Motion Monitor)を用いて行っ

た。剛体マーカーは胸椎部、骨盤部と左右の手部、前腕部、上腕部、大腿部、下腿部、足部の計 14 ヶ所に貼付した(図 2)。PEVT は投球時に投球側の肘関節に発生する最大内反トルクとし、先行研究<sup>9)</sup>を参考に逆動力学的に算出した。本研究の投球はミズノ社製硬式球(League Leader, 144.5g)を用い、投球時のボール質量による負荷を考慮に入れ、ボール質量を投球側の手部に加算して PEVT を算出した。また、投球はグローブを着用せずに行った。測定はセットアップポジションで 3 秒静止した状態からスタートし、支持脚(右投手の場合右脚)から投球方向へ 4m 離れた集球ネットに向かい投球した。投球の分析区間と期分けは、先行研究に倣い<sup>10,11)</sup>セットポジションの静止時から投球のフォロースルー完了時とした。本研究での MER の定義は、肩甲骨間に配置した胸椎マーカーに対し上腕骨が最大外旋した時の角度とした。投球速度は投球側中指先端の投球方向への最大線速度とし、この発生タイミングをボールリリース時とした。また加速期時間は MER 発生時からボールリリース時の間とした。

## II-5. 統計解析

統計解析は IBM 社 SPSS Statistics Ver.27 を用いて行い、有意水準は  $p < 0.05$  とした。第一の目的であるエクササイズ介入前後の変数比較では、各被験者の介入前後の 15 投球の平均値を代表値として対応のある t 検定を行った。第二の目的であるメカニズムの検証では、被験者間と被験者ごとの各変数間の相関検討をピアソンの相関分析で行った。また被験者ごとに従属変数を PEVT、独立変数を投球速度、MER、加速期時間の 3 変数とした場合の重回帰分析を強制投入法で行った。

### III. 結果

エクササイズ介入前後における各被験者の各変数の平均値および標準偏差を表 1 に示し、対応のある t 検定の結果を図 3 に示した。分析の結果、投球速度、MER、加速期時間、PEVT の全ての変数において介入前後に有意差は見られなかった。また介入前後の対応する各変数の間には、加速期時間 ( $r=.350$ ) 以外で有意な高い正の相関関係 ( $r=.841\sim.962$ ) が見られた。これらの結果は、介入エクササイズ前後での各被験者の投球速度や肩関節複合体の動きは同様であり、大きな変化は無かったことを示している。

表 2 に各被験者の 30 投球の投球速度、MER、加速期時間、PEVT 平均値および標準偏差の結果を示した。また、図 4 に被験者間における MER と加速期時間、加速期時間と PEVT、MER と PEVT、投球速度と PEVT のそれぞれの変数間の相関分析の結果を示した。その結果、被験者間の全ての変数間において有意な相関関係は見られなかった。

表 3 に被験者ごとの MER・加速期時間、加速期時間・PEVT、MER・PEVT 間の相関分析の結果を示した。MER・加速期時間および加速期時間・PEVT 間の相関は被験者ごとに大きく異なった。仮説通り MER と加速期時間に有意な正の相関関係、加速期時間と PEVT に有意な負の相関関係が観察されたのは被験者 E の 1 名のみであった。

表 4 では PEVT を従属変数とし、投球速度、MER、加速期時間の 3 変数を独立変数とした場合の被験者ごとの重回帰分析の結果を示した。その結果、全ての被験者で投球速度と PEVT に有意な正の関係性が見られ、そのほとんどに中程度から高い正の相関関係が見られた。MER と PEVT の関係性では有意な正の関係性が 4 名、有意な負の関係性が 1 名、有意な関係性がなかった者が 5 名であった。加速期時間と PEVT の関係性では有意な正の関

係性が 3 名, 有意な負の関係性が 1 名, 有意な関係性が見られなかった者が 6 名であった。

#### IV. 考察

本研究の第一の目的は肩関節複合体の可動域向上エクササイズが MER, 加速期時間, PEVT に及ぼす効果の検証であった。その結果, 全ての変数において介入前後に有意差が見られなかった。したがって, 介入エクササイズにより MER が拡大し, 加速期時間が延長され, PEVT の減少に繋がるとした本研究の仮説は全て支持されなかった。

本研究の第二の目的は相関分析および重回帰分析により仮説の検証を行うことであった。その結果, 被験者間の相関分析において MER・加速期時間, 加速期時間・PEVT 間の相関が見られず仮説を支持しなかった。被験者ごとに行った相関分析においても, MER と加速期時間の間に有意な正の相関関係を示したものが 3 名, 加速期時間と PEVT の間に有意な負の相関関係を示したものが 6 名で, 両仮説を共に支持したものは 1 名のみであった。従属変数を PEVT とし, 目的変数を投球速度, MER, 加速期時間とした被験者ごとの重回帰分析の結果では, 全ての被験者で投球速度と PEVT の間に中～強度の正の関係性が見られた。つまり本研究で検討した変数において, 投球速度のみが全員の PEVT を説明する唯一の変数ということが示された。

本実験の実験結果で得られた全被験者の平均投球速度は 27.31m/s で, 同様の年齢を対象とした先行研究<sup>12,24,36,37,38)</sup>の平均値 34.56 m/s より低値であった。これは先行研究では投球速度をスピードガンで計測した速度<sup>12,24,36,37)</sup>やボールにマーカーを貼付して計測した速度<sup>38)</sup>としていたが, 本研究では投球側中指先端の投球方向への最大線速度とした為の差異の為

だと考えられる。また先行研究<sup>12,24,36,37,38)</sup>は米国の研究であり、対象とした国籍や人種の違い、Aguinald et al. (2009)の研究<sup>12)</sup>では被験者にプロ投手のような非常に競技レベルの高い選手も含まれていた為の差異であった可能性も考えられる。PEVT においても本研究の平均値は 54.28 Nm であり、先行研究<sup>12,36,38)</sup>の 69.07 Nm よりも低値であった。この結果も投球速度と同様に被験者の違いによる差異の可能性が考えられる。MER は 102.3 deg と先行研究<sup>12,36,37)</sup>の平均 168.3 deg より低い値であった。これは先行研究では体幹を一つの剛体として捉え、これと前腕がなす角度を MER と定義していたが、本研究では胸椎マーカーと上腕骨がなす回旋角度を MER と定義した為の差異であると考えられる。加速期時間の平均値は 19.74 msec であったが、Werner et al.(2007)では 26 msec と本研究より長かった<sup>37)</sup>。これも先行研究と本研究の MER の定義の差異によって生じたものだと考えられる。

本研究の第一の目的は、肩関節複合体の可動域向上エクササイズ介入が投球動作時の MER、加速期時間延長、PEVT へ及ぼす効果を検証することであった。しかし、どの変数においても介入前後に有意差は見られなかった。肩関節複合体の可動域向上エクササイズが肘関節の投球障害を低下させたという報告をしている先行研究<sup>26,27)</sup>においては、約 1 年にわたり肩関節のみならず全身の柔軟性向上を狙ったエクササイズ介入に加え、筋力やバランス能力向上を狙ったトレーニングを行い、投球障害の発生率が低減したと報告している。本研究では介入エクササイズを投球間に行い、その短期的な効果を検証したものである。これらの結果は、本研究のような短期的な肩関節複合体の可動域向上エクササイズのみでは投球中の肩関節複合体の可動域を拡大させることはできないことを示している。よって、先行研究の結果と合わせると、肘関節の投球障害の予防には長期にわたり、肩関節複合体の

みならず、全身の柔軟性向上や筋力を鍛えることが必要であるといえる。

本研究では第二の目的として、物理学的観点から考えた MER 拡大によって加速期時間延長が起こり、PEVT の減少へと繋がるとした仮説を検証した。しかし、被験者間の MER と加速期時間、加速期時間と PEVT 間の相関分析において有意な相関が見られず、全ての仮説を支持しなかった。被験者ごとの相関分析においても、MER と加速時間に有意な正の相関関係が見られた者が 4 名、加速期時間と PEVT に有意な負の相関が見られた者が 6 名で、両仮説を支持する結果を示したものは被験者 E の 1 名のみであった。この結果は本研究の被験者 10 名だけでも様々な投球メカニズムが存在し、統一した傾向が示されなかった事を示している。大学野球投手を対象として関節可動域と障害発生リスクの関係を検証した谷本ら(2013)の研究<sup>39)</sup>では、静的な肩最大外旋可動域と PEVT の間に有意な負の相関 ( $R^2 = 0.403, p < .50$ )が見られ、最大外旋可動域増大に伴い PEVT が有意に減少するという結果が示された。しかし、本研究では同様の結果を示す被験者は 1 名のみであり、逆に正の相関を示す者は 5 名観察された。重回帰分析においても MER と PEVT に有意な負の関係性が見られた者が 1 名のみ、有意な正の関係性が見られた者が 4 名という結果が示された。

谷本らの研究と本研究の間に相違が見られた一つの理由としては、分析方法の相違が考えられる。谷本らの研究では球速の二乗で正規化した PEVT と静的な最大外旋可動域との関係性を検証しているのに対して、本研究では重回帰分析を用いて球速を交絡因子として PEVT と動的な肩最大外旋可動域である MER、そして加速期時間との関係性を検証した。さらに重回帰分析では、被験者ごとに重回帰分析を行ったため、被験者間の投球フォームや身体特性の相違もコントロールした上で分析を行った。これら分析方法の相違によって谷



本らの研究結果とは違うものになった可能性が考えられる。

被験者ごとに行った重回帰分析の結果では、全被験者に投球速度と PEVT の有意な正の関係性が見られ、そのほとんどが高い相関関係性を示した。これは被験者ごとの相関分析において球速と PEVT に有意な正の相関があるとした先行研究<sup>25)</sup>を支持する結果となった。この結果は多くの投手にとって投球速度上昇のみが PEVT の増加に繋がる共通したメカニズムであることを示している。MER と PEVT や加速期時間と PEVT の関係性は、被験者ごとに一定の傾向は示されなかった。本研究では肩関節複合体の可動域や加速期時間が肘外反負荷に影響を及ぼすという仮説をもとに検証を行ったが、全員に共通したメカニズムとしては示されず、肘外反負荷を増大させる要因として投球速度の上昇のみが被験者全員に共通したメカニズムとして示された。つまり、投球速度の上昇が全員に共通する UCL 損傷の重要なリスクファクターであることが明らかになった。先行研究のシステマティックレビューでは、エビデンスレベルの高い UCL 損傷のリスクファクターとして、球速<sup>22,40,41)</sup>のほかに投球数や登板回数の増加<sup>40,41)</sup>、身体的な要因として肩の可動域<sup>22,40,41)</sup>や上腕骨後捻角<sup>22,40)</sup>、下肢・体幹のバランス不良<sup>40)</sup>などの関連が指摘されている。また、直球の割合の増加が UCL 損傷の要因<sup>42)</sup>という報告や球種レパトリの少なさが UCL 損傷の予測要因であったという報告<sup>18)</sup>があり、直球に依存しない投球が UCL 損傷を防ぐ可能性として考えられる。これらの結果から UCL 損傷予防の為には、ただ単に球速を制限するということではなく、投球数の制限や全身のケアやエクササイズのアプローチ、直球のみに頼らない投球方法の開発などが必要であることが考えられる。しかし、これらの結果にはまだ相反した結果も多く、コンセンサスが得られていない。また、UCL 損傷の原因と考えられている肘外

反負荷増大のメカニズムはまだ未解明な部分も多く、今後より詳細な研究報告が待たれる。

最後に本研究の限界点を述べる。本研究では加速期時間を先行研究<sup>10,11)</sup>に倣い MER からボールリリースの間としたが、これは体幹や下肢の動きを考慮していない。投球動作は全身が関わる動作であり、今後は体幹や下肢の動きを含めた検討も必要であり、今後の課題である。本実験では実験室内という、投手が実際に投球を行うマウンドとは異なる、平地から集球ネットに向かった投球であったため、実際の投球動作を反映していない可能性がある。また、本実験のセッティングの関係上、グラブを着けずに投球を行ったため、本来の投球動作と若干の差異がある可能性がある。しかし、本研究は投球フォームや身体特性などの被験者間の相違から生じる交絡因子を制御するために、被験者ごとに相関分析を行い、どの変数が PEVT に影響するのかを検討した。したがって本研究結果は、実際の野球競技の投球動作に対しても十分適用できると考えられる。

## V. まとめ

本研究は野球競技における代表的な投球障害である UCL 損傷の要因とされている肘外反負荷増大のメカニズム解明を目的として介入実験を行った。本研究では第一の目的として、肩関節複合体の可動域向上エクササイズが肘外反負荷を減少させるという仮説を検証する介入実験を行った。しかし、分析の結果、本実験で行った短期的な可動域向上の介入エクササイズでは肩関節複合体の最大外旋可動域拡大は見られず、肘外反負荷の減少効果も見られなかった。本研究では第二の目的として、投球中の肩外旋可動域拡大が加速期時間延長に繋がり、肘外反負荷減少に繋がるという仮説を相関分析および重回帰分析により検証した。

その結果、仮説を支持する関係性は見られず、仮説は支持されなかった。被験者全員に共通して見られた肘外反負荷増大のメカニズムは球速の上昇であるということが示された。

## VI. 現場への示唆

本研究の研究結果から UCL 損傷を含む投球肘障害の予防策として肩関節複合体の可動域向上エクササイズの短期的介入のみでは十分でない可能性が示された。先行研究<sup>26,27)</sup>の結果から考慮しても、筋力トレーニングやバランストレーニングなどを含めた全身へのアプローチを長期的に行っていかなければならない。また本研究では UCL 損傷に繋がる肘外反負荷の増大は球速上昇による影響が最も大きいことが示された。野球競技に関わる選手や指導者などはこの事実を受け止め、投手の過度な球速上昇が UCL 損傷を招き、長期の競技離脱に繋がるというリスクを承知しておかなければならない。将来性の高い選手を UCL 損傷で競技離脱させないために、球速のみに頼った投球や直球の投げ過ぎを行わないよう他の球種の開発を行うなど指導、管理することが必要である。また、競技を続けるうえで投球毎に肘に大きな負荷が掛かることは避けられない。青少年期から競技離脱に繋がるような投球障害を防ぐためにも、米国の投球障害予防ガイドラインである Pitch Smart Guidelines<sup>43)</sup>などを参考に、投球数の制限、登板間隔や試合数の制限など様々な方法で、継続的に大きな負荷を掛けない配慮が指導者や競技運営者に必要である。

## VII. 謝辞

本論文の制作にあたり，多くの方々にご指導ご鞭撻を受け賜りました。

指導教官の大阪体育大学大学院スポーツ科学研究科，下河内洋平教授には終始多大なご指導を受け賜りました。ここに深謝の意を表します。

同学科三島隆章教授，ならびに同学科貴嶋孝太准教授には，本論文の制作にあたり，副査として適切なご助言を受け賜りました。感謝申し上げます。

本研究の実験を遂行するにあたりご協力いただいた，大阪体育大学男子硬式野球部，中野和彦監督，中村龍一トレーナー，被験者になっていただいた投手の皆さんに厚く御礼申し上げます。

下河内研究室の皆様には，研究を進めるにあたり様々な助言やご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

最後に，大学院進学にあたり快く送り出し，精神面・経済面から支援して頂いた両親には深い敬意と感謝を示します。

## 文献

1. Tommy John Surgery List @MLBPlayerAnalys.  
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1gQujXQQGOVNaiuwSN680Hq-FDVSCwvN-3AazykOBON0/edit#gid=0> (accessed 2022-05-20)
2. Stan A. Conte, Glenn S. Fleisig, Joshua S. Dines, Kevin E. Wilk, Kyle T. Aune, Nancy Patterson-Flynn and Neal ElAttrache (2015) Prevalence of Ulnar Collateral Ligament Surgery in Professional Baseball Players. *Am J Sports Med.* Jul;43(7):1764-9.
3. R P. Coughlin, C Gohal, N S. Horner, A Shanmugaraj, N Simunovic, E R. Cadet, A Bedi and O R. Ayeni (2019) Return to Play and In-Game Performance Statistics Among Pitchers After Ulnar Collateral Ligament Reconstruction of the Elbow: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* Jul;47(8):2003-2010
4. S Conte, C L Camp and J S Dines (2016) Injury Trends in Major League Baseball Over 18 Seasons: 1998-2015. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* Mar-Apr ;45(3):116-23.
5. Erickson B. J., Nwachukwu B. U., Rosas S., Schairer W. W., McCormick F. M., Bach Jr B. R., and Romeo A. A. (2015). Trends in medial ulnar collateral ligament reconstruction in the United States: a retrospective review of a large private-payer database from 2007 to 2011. *The American journal of sports medicine*, 43(7), 1770-1774.
6. Fleisig G. S. and Andrews J. R. (2012). Prevention of elbow injuries in youth baseball pitchers. *Sports health*, 4(5), 419-424.
7. Joshua R Labott, William R Aibinder, Joshua S Dines and Christopher L Camp(2018)

Understanding the medial ulnar collateral ligament of the elbow: Review of native ligament anatomy and function. *World J Orthop* June 18; 9(6): 78-84.

8. C S Ahmad, T Q Lee and N S ElAttrache (2003) Biomechanical evaluation of a new ulnar collateral ligament reconstruction technique with interference screw fixation. *Am J Sports Med.* May-Jun ;31(3):332-7.
9. M Feltner and J Dapena (1986) Dynamics of the Shoulder and Elbow Joints of the Throwing Arm During a Baseball Pitch. *International Journal of Sport Biomechanics.* Nov, Vol. 2 Issue 4, p235 25p.
10. S L Werner, G S Fleisig, C J Dillman and J R Andrews (1993) Biomechanics of the elbow during baseball pitching . *J Orthop Sports Phys Ther.* Jun;17(6):274-8.
11. G S Fleisig, J R Andrews, C J Dillman and R F Escamilla (1995) Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sports Med.* Mar-Apr ;23(2):233-9.
12. A L Aguinaldo and H Chambers (2009) Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. *Am J Sports Med.* Oct;37(10):2043-8.
13. B F Morrey and K N An (1983) Articular and ligamentous contributions to the stability of the elbow joint. *Am J Sports Med.* Sep-Oct ;11(5):315-9.
14. Maxwell C. Park and Christopher S. Ahm (2004) Dynamic Contributions of the Flexor-Pronator Mass to Elbow Valgus Stability. *J. Bone Joint Surg. Am.* 86:2268-2274.
15. A W Anz, B D Bushnell, L P Griffin, T J Noonan, M R Torry and R J Hawkins (2010)

- Correlation of torque and elbow injury in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med.* Jul;38(7):1368-74.
16. G S Bullock, G Menon, K Nicholson, R J Butler, N K Arden and S R Filbay (2021) Baseball pitching biomechanics in relation to pain, injury, and surgery: A systematic review. *J Sci Med Sport.* Jan;24(1):13-20.
17. B D Bushnell, A W Anz, T J Noonan, M R Torry and R J Hawkins (2010) Association of maximum pitch velocity and elbow injury in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med.* Apr;38(4):728-32.
18. Whiteside, D., Martini, D. N., Lepley, A. S., Zernicke, R. F., & Goulet, G. C. (2016). Predictors of ulnar collateral ligament reconstruction in Major League Baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 44(9), 2202-2209.
19. J Prodomo, N Patel, N Kumar, K Denehy, L P Tabb and J Tom (2016) Pitch Characteristics Before Ulnar Collateral Ligament Reconstruction in Major League Pitchers Compared With Age-Matched Controls. *Orthop J Sports Med.* Jun 14;4(6).
20. 酒折 文武・圓城寺 啓人・竹森 悠渡・西塚 真太郎・保科 架風(2017) 野球のトラッキングデータに基づいた肘内側側副靱帯損傷の要因解析. *統計数理* 第 65 卷 第 2 号 201-215
21. S F DeFroda, P K Kriz, A M Hall, D Zurakowski and P D Fadale (2016) Risk Stratification for Ulnar Collateral Ligament Injury in Major League Baseball Players: A Retrospective Study From 2007 to 2014. *Orthop J Sports Med.* Feb 1;4(2)

22. M P Reiman, M D Walker, S Peters, E Kilborn, C A Thigpen and G E Garrigues (2019)  
Risk factors for ulnar collateral ligament injury in professional and amateur baseball players: a systematic review with meta-analysis. *J Shoulder Elbow Surg.* Jan;28(1):186-195.
23. Hurd WJ, Jazayeri R, Mohr K, Limpisvasti O, El Attrache NS and Kaufman KR (2012)  
Pitch velocity is a predictor of medial elbow distraction forces in the uninjured high school-aged baseball pitcher. *Sports Health.* 4(5):415–418.
24. Post EG, Laudner KG, McLoda TA, Wong R and Meister K (2015) Correlation of shoulder and elbow kinetics with ball velocity in collegiate baseball pitchers. *J Athl Train.* 50(6):629–633.
25. J. S. Slowik, K T Aune, A Z Diffendaffer, E L Cain, J R Dugas and G S Fleisig (2019)  
Fastball Velocity and Elbow-Varus Torque in Professional Baseball Pitchers. *J Athl Train.* Mar;54(3):296-301.
26. J Sakata, E Nakamura, M Suzukawa, A Akaike and Kuniaki Shimizu (2017) Physical Risk Factors for a Medial Elbow Injury in Junior Baseball Players: A Prospective Cohort Study of 353 Players. *Am J Sports Med.* Jan;45(1):135-143.
27. H Shitara, A Yamamoto, D Shimoyama, T Ichinose, T Sasaki, N Hamano, and K Takagishi, (2017) Shoulder stretching intervention reduces the incidence of shoulder and elbow injuries in high school baseball players: a time-to-event analysis. *Scientific reports*, 7(1), 1-7.



28. Dines JS, Frank JB, Akerman M and Yocum LA (2008) Glenohumeral internal rotation deficits in baseball players with ulnar collateral ligament insufficiency. The American Journal of Sports Medicine, 04 Dec, 37(3):566-570.
29. J. Craig Garrison, Mollie A. Cole, John E. Conway, Michael J. Macko, Charles Thigpen and Ellen Shanle (2012) Shoulder Range of Motion Deficits in Baseball Players With an Ulnar Collateral Ligament Tear. Am J Sports Med. Nov;40(11):2597-603.
30. J. Craig Garrison, Amanda Arnold, Michael J. Macko and John E. Conway (2013) Baseball Players Diagnosed with Ulnar Collateral Ligament Tears Demonstrate Decreased Balance Compared to Healthy Controls. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, Volume43, Issue10, Pages 752-758.
31. Thomas J. Noonan, Charles A. Thigpen, Lane B. Bailey, Douglas J. Wyland, Michael Kissenberth, Richard J. Hawkins and Ellen Shanley (2016) Humeral torsion as a risk factor for shoulder and elbow injury in professional baseball pitchers. Am. J. Sports Med. 44(9): 2214-2219.
32. G Fleisig, Y Chu, A Weber and J Andrews (2009) Variability in baseball pitching biomechanics among various levels of competition. Sports Biomech. Mar;8(1):10-21.
33. Feltner ME (1989) Three-Dimensional Interactions in a Two-Segment Kinetic Chain. Part II: Application to the Throwing Arm in Baseball Pitching, International Journal of Sport Biomechanics, 5(4), 420-450.
34. 宮下 浩二・小林 寛和・越田 専太郎・浦辺 幸夫 (2009) 投球動作の肩最大外旋角度に

対する肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節および胸椎の貢献度. 体力科学 58 巻 3 号 p.379-386

35. 金谷整亮・中村真理・建道寿教・信原克哉・中村康雄 (2004) モーションキャプチャ・システムを用いた肩複合体の 3 次元運動解析. 肩関節, 28(2), 219-222.
36. Fleisig GS, Kingsley DS and Loftice JW (2006) Kinetic comparison among the fastball, curveball, change-up, and slider in collegiate baseball pitchers. Am J Sports Med. 34:423-430.
37. Werner SL, Guido JA, Stewart GW, McNeice RP, VanDyke T and Jones DG (2007) Relationships between throwing mechanics and shoulder distraction in collegiate baseball pitchers. J Shoulder Elbow Surg. 16:37-42.
38. Solomito MJ, Garibay EJ, and Nissen CW (2018). Sagittal plane trunk tilt is associated with upper extremity joint moments and ball velocity in collegiate baseball pitchers. Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 6(10).
39. 谷本道哉・吉岡伸輔・瀬戸口芳正・平島雅也 (2013) 野球投球動作の肩関節周りの発揮トルク・稼働範囲と肩・肘関節傷害リスクとの関係. Memoirs of the Faculty of Biology-Oriented Science and Technology of Kinki University, 31, 31-45.
40. Coughlin RP, Lee Y, Horner NS, Simunovic N, Cadet ER, and Ayeni OR. (2019). Increased pitch velocity and workload are common risk factors for ulnar collateral ligament injury in baseball players: a systematic review. Journal of ISAKOS, 4(1), 41-47.
41. Agresta C. E., Krieg K., and Freehill M. T. (2019). Risk factors for baseball-related arm

injuries: a systematic review. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 7(2).

42. Keller R. A., Marshall N. E., Guest J. M., Okoroha K. R., Jung E. K., and Moutzouros V.

(2016). Major League Baseball pitch velocity and pitch type associated with risk of ulnar collateral ligament injury. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 25(4), 671-675.

43. Pitch Smart Guidelines. <https://www.mlb.com/pitch-smart> (accessed 2022-07-12)

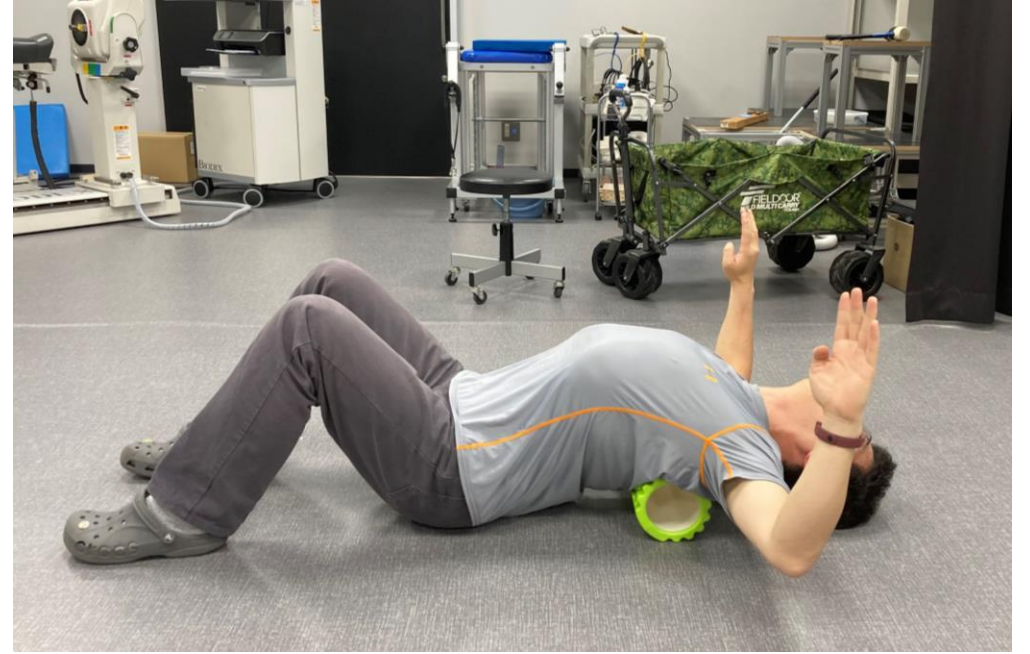
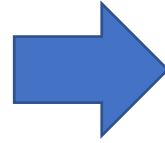


図1-a Scapular Arch Exercise with Foam roller



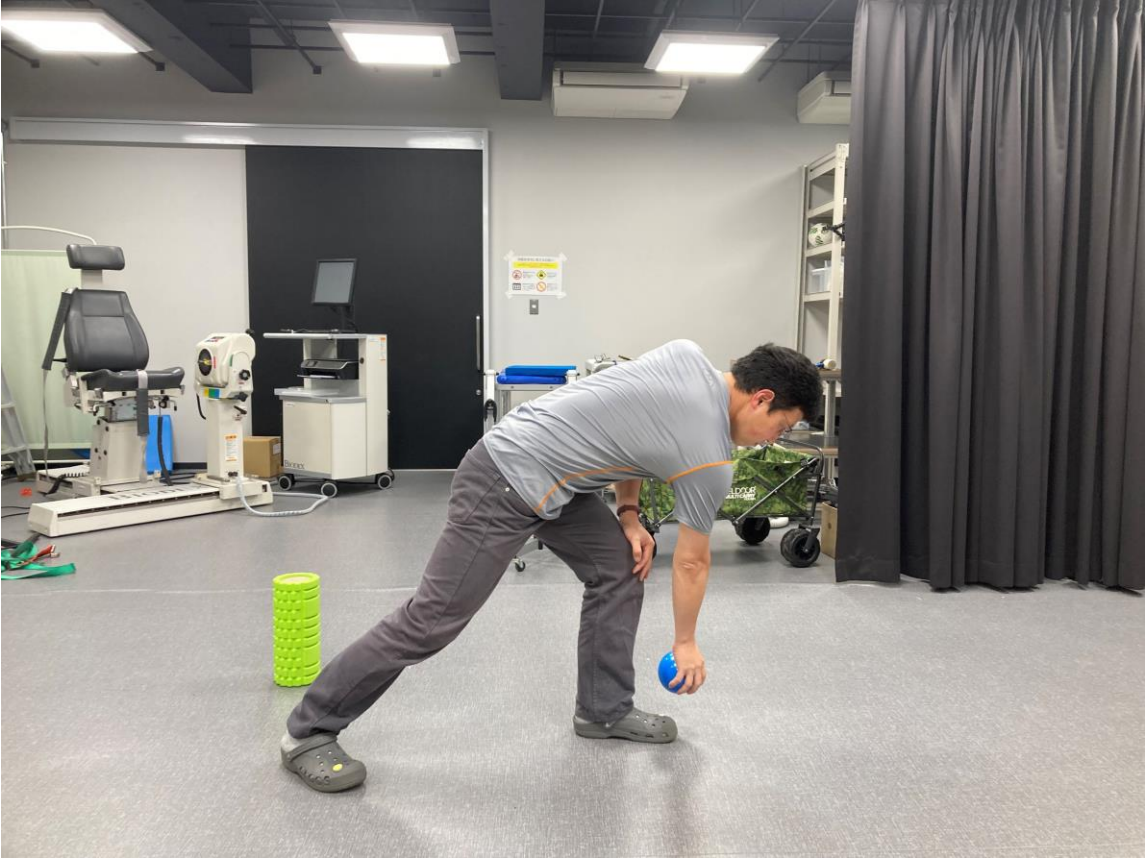
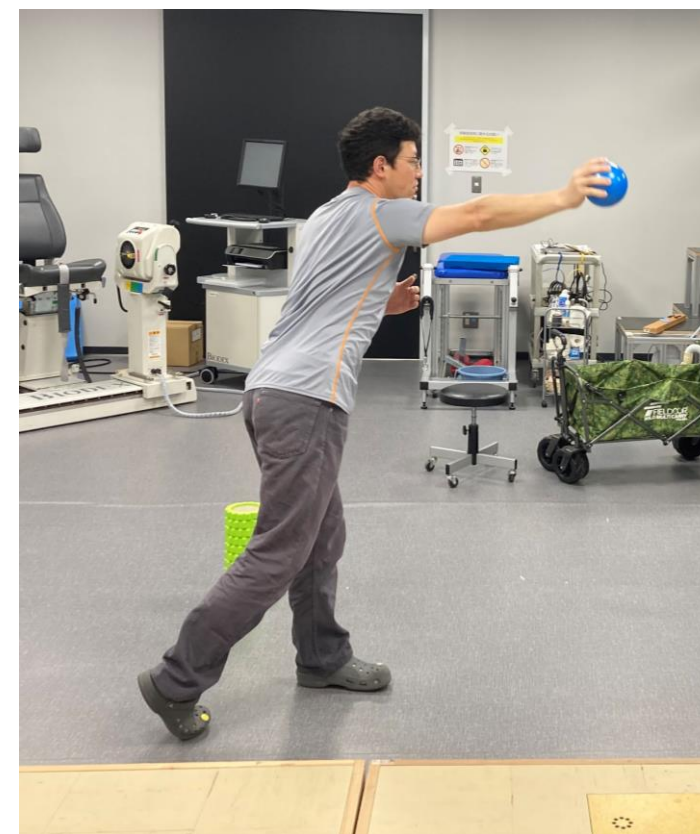


図1-b Thoracic Rotation with Medicine Ball (1kg)



☒1-c Maximum External Rotation Exercise with Medicine Ball (1kg)





図2 剛体マーカー貼付位置

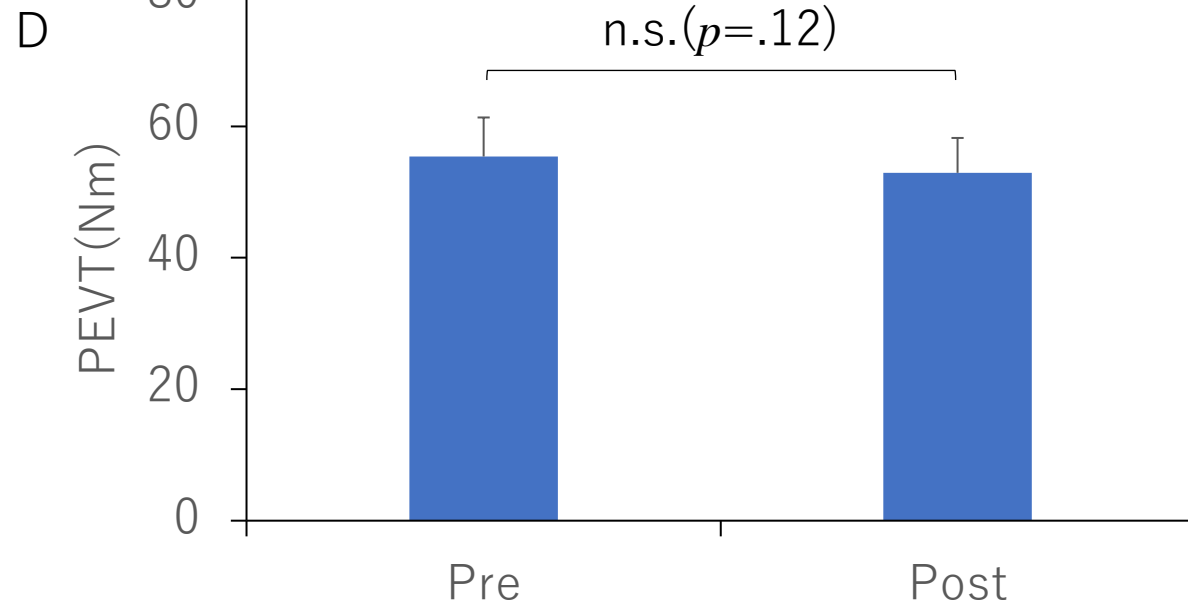
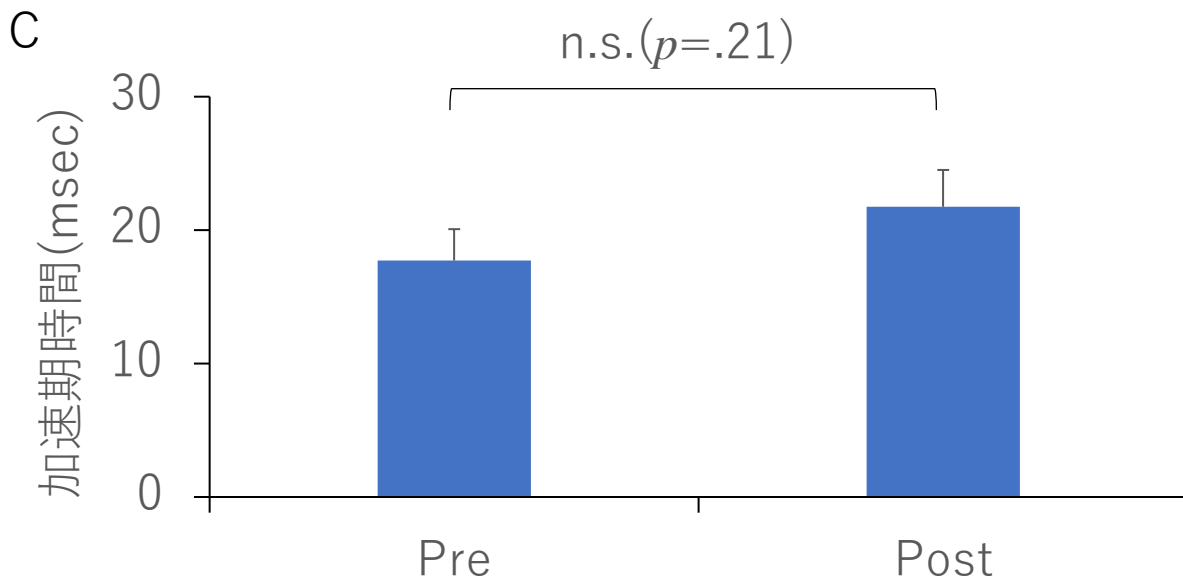
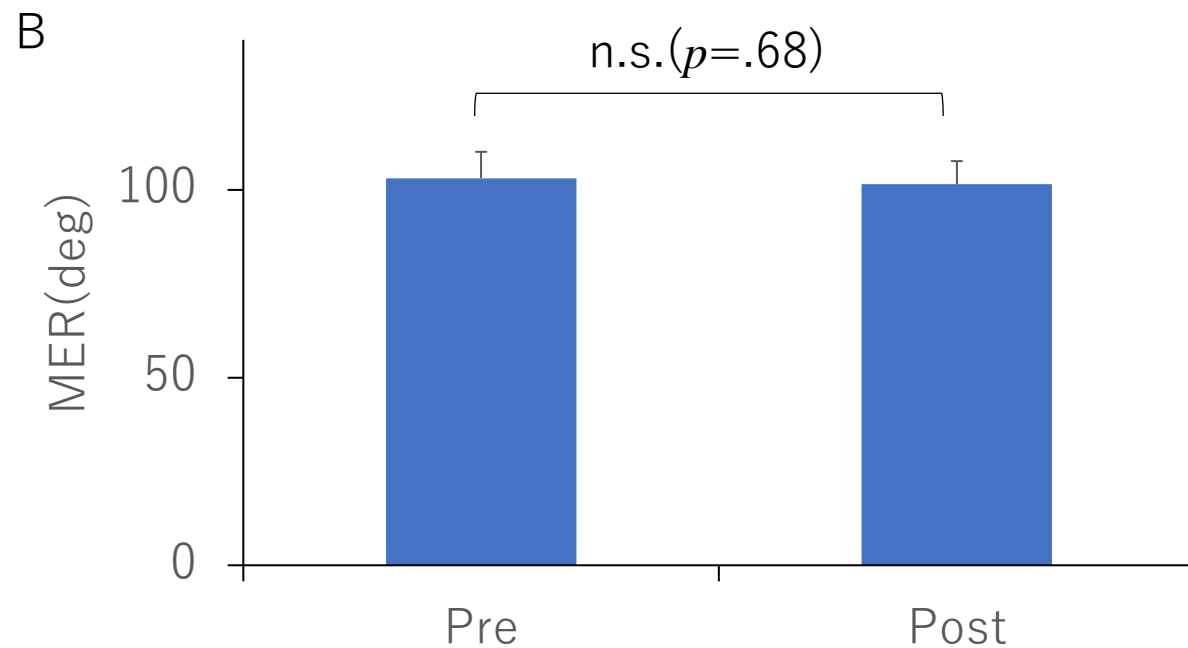
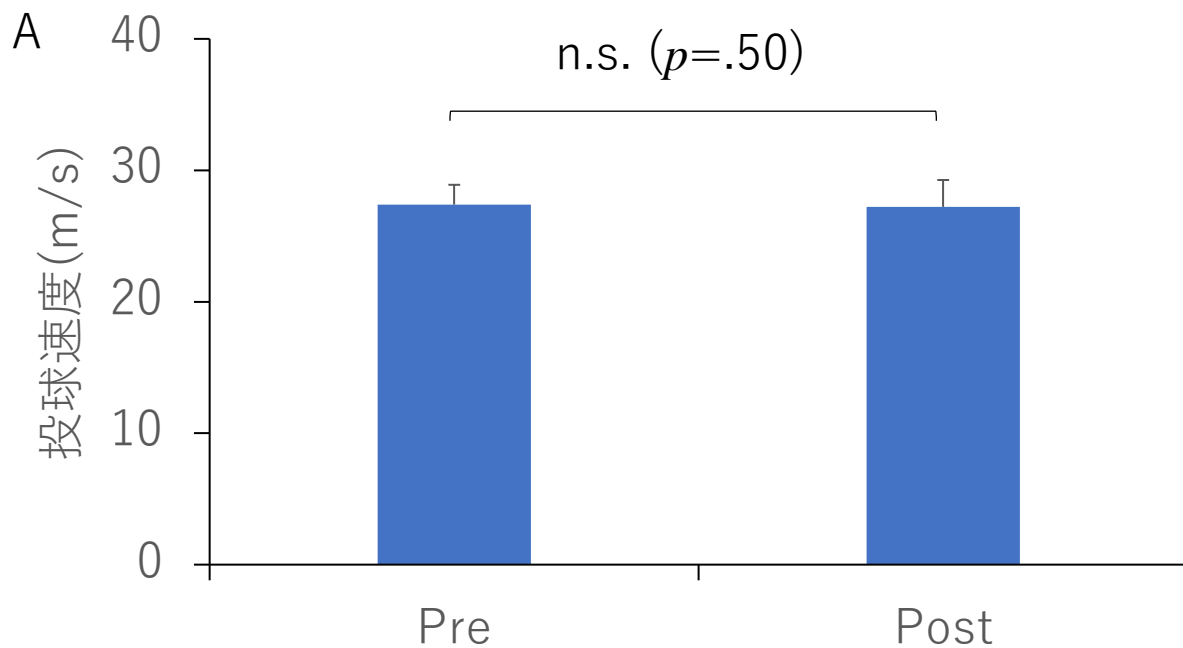


図3 各変数のエクササイズ介入前後比較



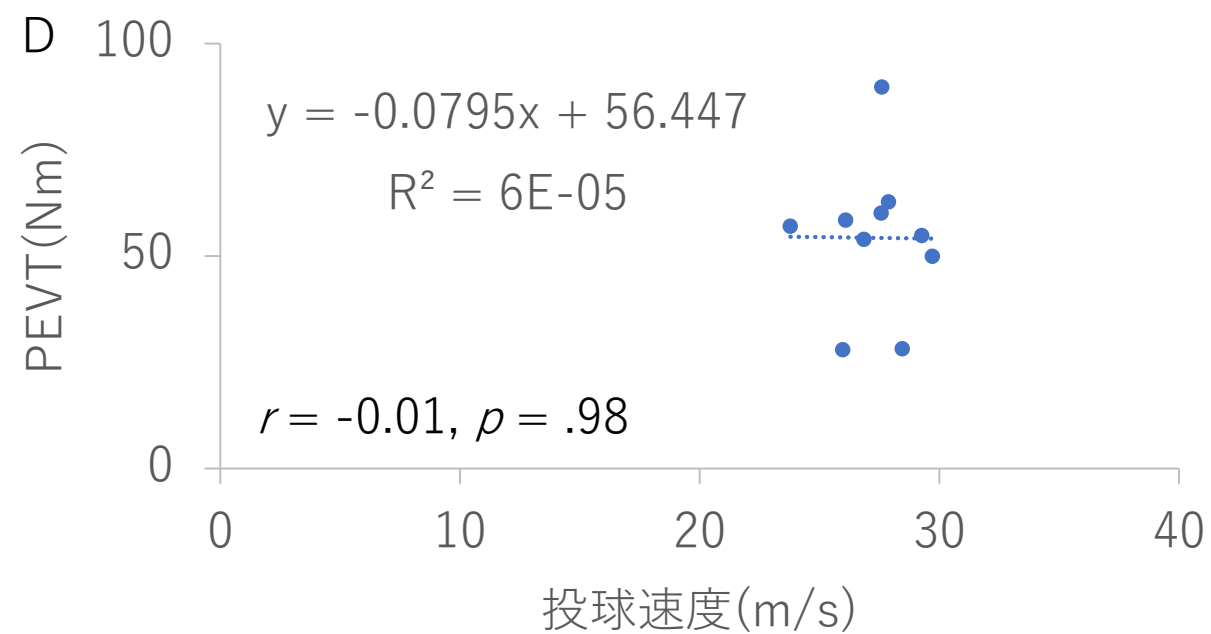
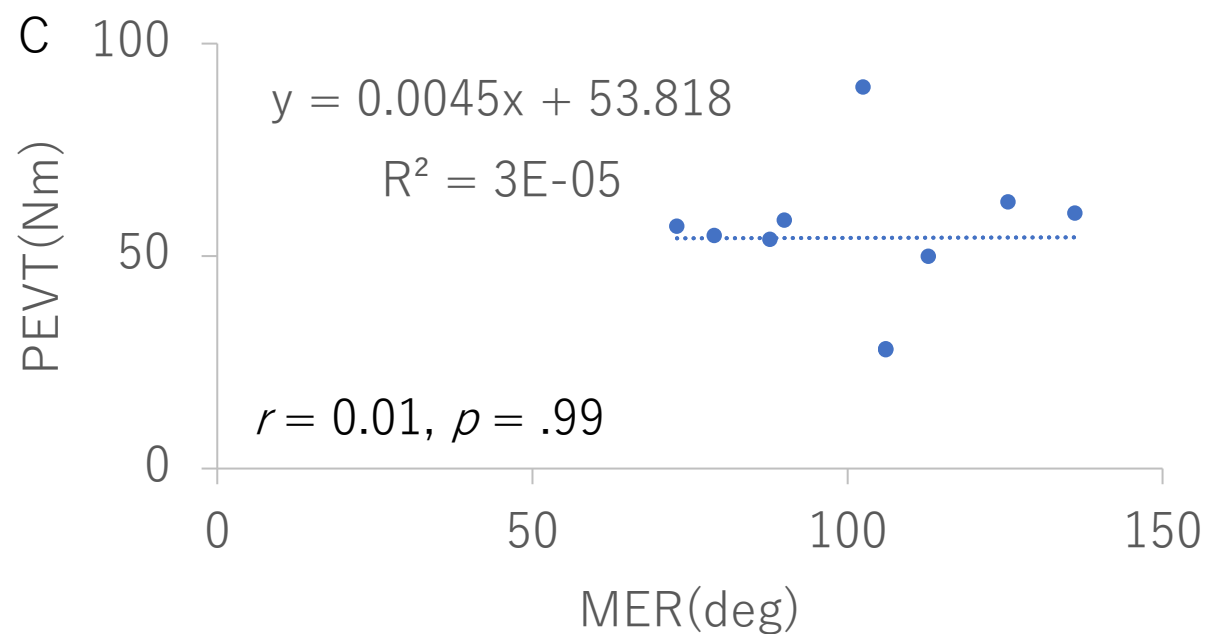
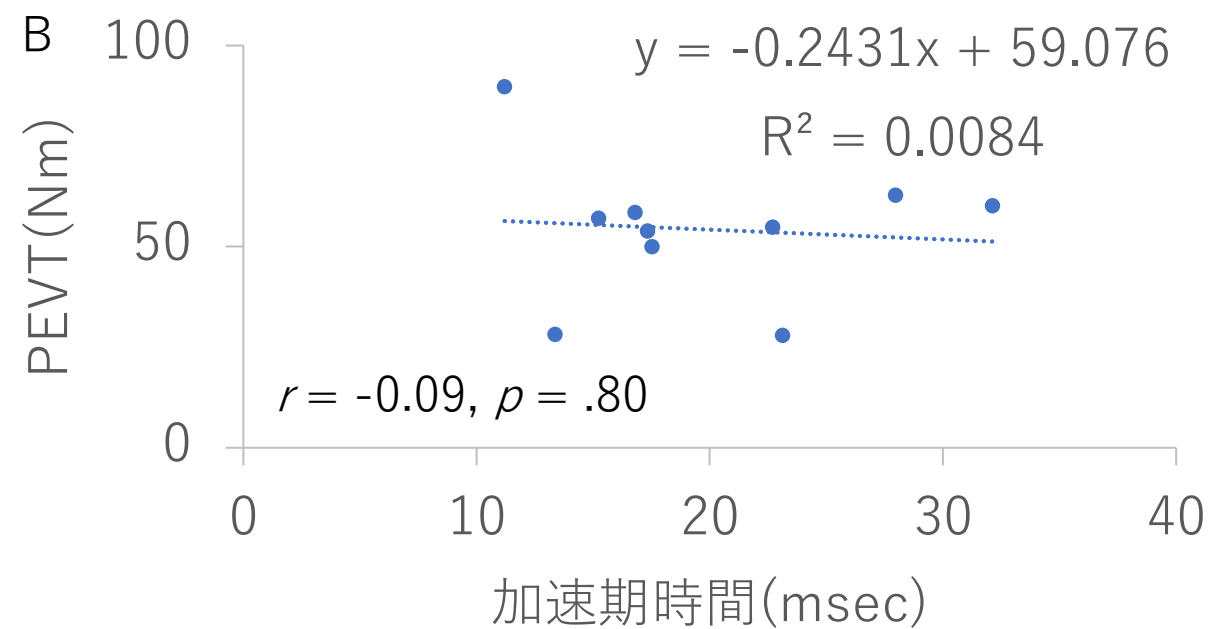
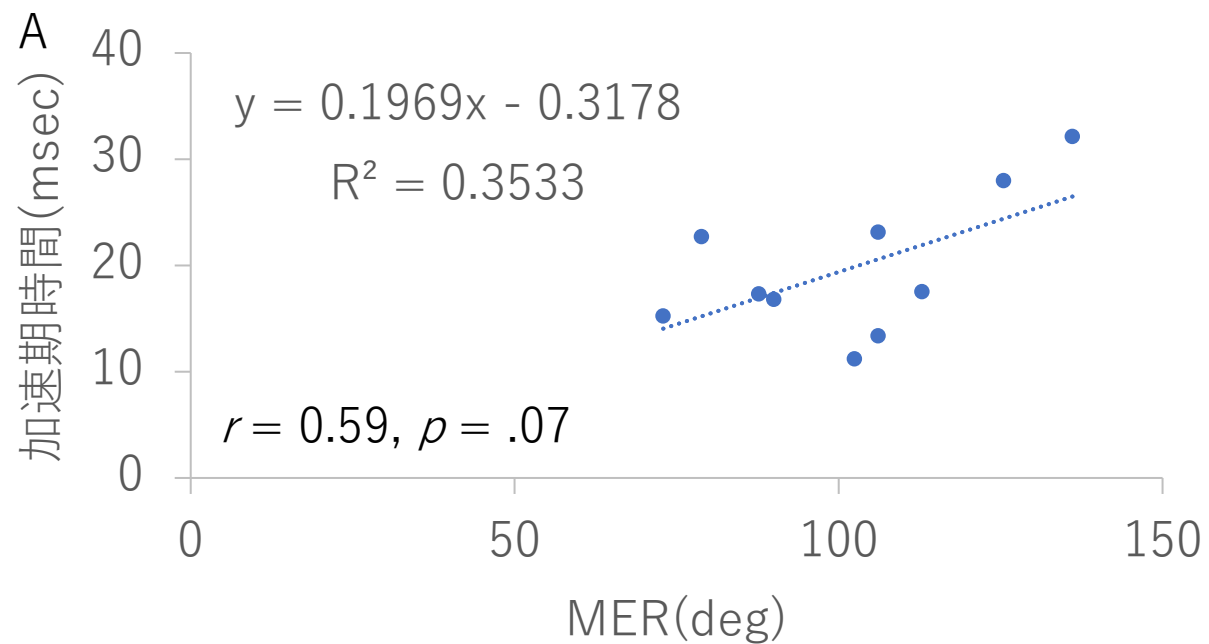


図4 被験者間での各変数間の相関関係

表1 全被験者のエクササイズ介入前後15投球の各変数平均値一覧

	Pre		Post		$p$ 値	Cohen's $d$	相関	
	Mean	SD	Mean	SD			$r$ 値	$p$ 値
投球速度(m/s)	27.40	1.50	27.23	2.03	.50	0.23	0.953	>.001
MER(deg)	103.08	22.31	101.52	19.54	.68	0.13	0.841	.002
加速期時間(msec)	17.73	7.24	21.75	8.79	.21	-0.43	0.350	.321
PEVT(N m)	55.43	18.70	52.92	16.74	.12	0.55	0.962	>.001

表2 被験者ごとの全30投球の各変数の平均値一覧

Subject	投球速度(m/s)		MER(deg)		加速期時間(msec)		PEVT(Nm)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
A	29.27	0.64	78.83	8.95	22.70	3.82	54.82	3.15
B	29.70	0.90	112.84	4.87	17.53	1.68	49.95	3.49
C	26.85	0.36	87.68	4.44	53.88	4.57	53.88	4.57
D	23.78	0.75	72.92	7.94	15.23	3.86	57.02	2.50
E	27.59	0.56	102.44	6.85	13.00	11.20	89.73	6.35
F	27.87	0.30	125.47	4.21	27.97	17.26	62.75	1.87
G	28.45	0.46	106.07	9.63	13.37	1.77	28.13	2.48
H	25.97	0.57	89.99	8.27	23.13	6.08	27.92	3.06
I	26.09	0.67	136.08	6.58	16.80	5.62	58.45	3.79
J	27.57	0.82	110.63	4.04	32.13	3.90	60.12	2.40

表3 被験者ごとのMER・加速期時間，加速期時間・PEVT，MER・PEVT間の相関一覧

Subject	MER・加速期時間		加速期時間・PEVT		MER・PEVT	
	相関係数	<i>p</i> 値	相関係数	<i>p</i> 値	相関係数	<i>p</i> 値
A	0.701	<.001	0.507	.004	0.704	<.001
B	0.339	.067	0.331	.074	0.478	.008
C	-0.860	<.001	-0.712	<.001	0.856	<.001
D	0.747	<.001	0.157	.408	-0.060	.752
E	0.855	<.001	-0.725	<.001	-0.758	<.001
F	0.067	.727	-0.432	.017	0.265	.156
G	-0.280	.134	-0.441	.015	0.449	.013
H	-0.079	.679	-0.468	.009	0.325	.080
I	-0.596	.001	-0.678	<.001	0.845	<.001
J	-0.372	.043	0.017	.930	-0.405	.027

表4 被験者ごとの投球速度, MER, 加速期時間とPEVTの重回帰分析

Subject	R <sup>2</sup>	<i>p</i> 値	投球速度			MER			加速期時間		
			係数	<i>p</i> 値	部分相関	係数	<i>p</i> 値	部分相関	係数	<i>p</i> 値	部分相関
A	0.779	<.001	0.738	<.001	0.532	0.701	<.000	0.499	0.527	.002	0.312
B	0.944	<.001	0.865	<.001	0.827	0.149	.008	0.134	0.227	<.001	0.213
C	0.899	<.001	0.700	<.001	0.406	0.299	.075	0.116	0.005	.967	0.003
D	0.492	<.001	0.831	<.001	0.629	-0.146	.510	-0.093	0.781	.002	0.491
E	0.907	<.001	0.600	<.001	0.557	-0.621	<.001	-0.321	0.023	.852	0.011
F	0.476	.001	0.474	.004	0.450	0.173	.250	0.167	-0.526	.001	-0.518
G	0.724	<.001	0.793	<.001	0.644	0.781	<.001	0.632	-0.010	.931	-0.009
H	0.741	<.001	0.810	<.001	0.663	0.195	.065	0.192	0.002	.980	0.003
I	0.808	<.001	0.399	.018	0.218	0.428	.007	0.251	0.003	.182	-0.118
J	0.463	.001	0.574	.001	0.528	-0.222	.198	-0.190	-0.100	.525	-0.093