

ウェアラブル慣性センサを用いた 投球動作中の肘関節外反トルク計測の検証 —モーションキャプチャシステムとの比較—

原 著

Verification of the usefulness of the wearable inertial sensor for
measuring the elbow valgus torque during pitching motion:
A comparison with the motion capture system

植田篤史*¹, 新熊孝文*²

キー・ワード : Pitching, elbow joint, evaluation
投球動作, 肘関節, 評価

〔要旨〕 本研究の目的は、ウェアラブル慣性センサ (Wearable Inertial Sensor : WIS) とモーションキャプチャシステム (Motion Capture System : MCS) で計測した投球動作中の肘関節外反トルク値を比較検討することである。対象は、肩肘痛のない大学野球選手 15 名とした。肘関節外反トルクは、WIS と MCS を用いて同時に計測した。投球強度は全力投球とした。WIS で用いた肘関節外反トルクは専用のアプリケーションを用いて算出した。MCS では、逆動力学解析により肩最大外旋期の肘関節外反トルクを算出した。この結果、WIS と MCS の級内相関係数は、それぞれ 0.93, 0.96 であった。また、WIS で計測した肘関節外反トルクは MCS に比較して、平均 7.6N/m 有意に低値を示した一方で、それぞれの測定機器間には有意な相関関係があった ($R=0.54, p<0.01, 95\%$ 信頼区間 0.29~0.72)。これらより、WIS で計測した肘関節外反トルクは、MCS に比べて、低値であったが、測定機器間に関連性があった。

緒言 (はじめに)

肘関節内側部の投球障害肘は、さまざまな年代の野球選手によく生じる障害であり¹⁾、その主たる原因は投球動作中の肘関節の過剰な力学的負荷が関与していることが知られている²⁾。投球動作中の肘関節の力学的負荷の中でも、後期コッキング期に生じる約 64N/m の肘関節外反トルクは、肘関節内側部に位置する尺側側副靭帯や前腕屈筋群などの軟部組織の伸張ストレスを増大させ、投球障害肘の発生に関連している³⁾。このため、投球動作中の過剰な肘関節外反トルクを適切に評価することは、投球障害肘の予防や、投球障害肘後のリハ

ビリテーションにおいて重要である。

投球動作中の肘関節外反トルクを評価するためのスタンダードな方法であるモーションキャプチャシステム (Motion Capture System : MCS) は、投球動作中の肘関節外反トルクの計測に広く用いられている^{2,3)}。しかし、MCS は、高価であり、計測場所のほとんどが実験室内に限定される欠点があるため、スポーツ現場や病院などの臨床現場では投球動作中の肘関節外反トルクの定量的な計測を実施することは困難であると考えられている。このため、臨床現場では、投球動作中の肘関節負荷の計測の代替手段の一つとして、全力投球に対する選手の主観的な投球強度 (50%, 75% など) に基づいて投球負荷が評価されている⁴⁾。しかし、先行研究より、主観的な投球強度の妥当性は十分ではなく、選手の投球動作時の主観的な努力度に基づいた肘関節外反トルクの評価は、過小評

*1 関西福祉科学大学保健医療学部リハビリテーション学科

*2 阪堺病院整形外科

Corresponding author : 新熊孝文 (shinkum5813@gmail.com)

働されていることが報告されている^{4,5)}。このように、選手の主観的な投球強度のみの評価では、肘関節外反トルクを含めた投球時の肘関節の力学的負荷の適切な管理が困難となり、野球選手の投球障害肘の発生リスクが高まることが推察される。以上より、評価場所を限定せずに簡便かつ定量的に実施できる投球動作中の肘関節外反トルクの評価方法の開発が強く望まれる。

近年、場所を限定せず、簡便に投球動作中の肘関節外反トルクを定量的に計測する手法として、小型で軽量のウェアラブル慣性センサ (Wearable Inertial Sensor : WIS) が用いられるようになった。WIS の中でも motus baseball は、簡便で即時に投球動作中の肘関節外反トルクを計測できることから、近年の研究では、投球動作の不良動作時⁶⁾、重さの異なるボールの投球時⁷⁾、投球時のさまざまな主観的強度^{4,5)}などの状況下での肘関節外反トルクの評価に応用されている。WIS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクの計測に関して、Camp らは、pilot study データとして、WIS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクは MCS で計測した肘関節外反トルクとの相関係数は 0.9 であり、良好な妥当性があることを報告している⁸⁾。また、Boddy らは、WIS と MCS で計測した肘関節外反トルク間の相関係数は 0.7 であり、系統誤差もなかったことから、WIS の計測の妥当性は良好であったことを言及している⁹⁾。しかし、近年の Camp らの研究では、WIS で計測した肘関節外反トルク値は、MCS と比較して、有意に低値であり、系統誤差があることを明らかにしている。以上の従来の研究を踏まえると、現段階では、WIS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクの計測は、スタンダード法である MCS に比べて、測定値間に関連性はある一方で、測定機器間の絶対値に有意差があるため、従来の研究では、WIS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクの有用性については、未だ一定の見解が得られていないと考えられる。WIS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクの計測の有用性を示すことは、投球障害肘の予防やリハビリテーションを適切に実施する上で重要な知見になることが期待される。

本研究の目的は、WIS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクの計測の有用性を明らかにするために、WIS とスタンダード法である MCS を用いて計測した肘関節外反トルク値を比較検討するこ

表 1 対象者の属性

	平均 [標準偏差]
年齢 [歳]	19.40 [1.20]
身長 [cm]	174.93 [4.84]
体重 [kg]	74.73 [5.67]
Body Mass Index [kg/m ²]	24.41 [1.35]
上腕長 [cm]	30.08 [1.50]
前腕長 [cm]	26.88 [1.60]
肘関節周径 [cm]	26.15 [0.95]
競技歴 [年]	12.08 [2.23]
球速 [km/h]	113.90 [5.25]
利き腕	
右	12
左	3
ポジション	
投手	11
捕手	1
内野手	2
外野手	1

とである。本研究の仮説は、WIS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクの計測は良好な再現性と妥当性のある計測方法であることとした。

■ 対象および方法

対象は肩肘痛のない大学野球選手 15 名とした (年齢 : 19.40 ± 1.20 歳, 競技歴 : 12.08 ± 2.2 年, ポジション : 投手 11 名, 捕手 1 名, 内野手 2 名, 外野手 1 名, 利き腕 : 右 12 名, 左 3 名) (表 1)。除外基準は、投球時に疼痛を有する者、上肢の手術歴のある者とした。本研究は、ヘルシンキ宣言に基づき実施し、関西福祉科学大学倫理審査委員会の承認 (承認番号 : 23-20) を得た。また、全対象者に対して本研究に関して、十分な説明を実施した上で同意を得た。

対象者の身体の属性データは、身長、体重、body mass index (BMI)、上腕長、前腕長、肘関節周径、球速を計測した。上腕長の計測方法は、肩峰外側端から上腕骨外側上顆まで、前腕長は上腕骨外側上顆から橈骨茎状突起までのそれぞれの距離とした。肘関節周径は上腕骨外側上顆と内側上顆の周囲を測定した。球速はスピードガン (Sports Radar Ltd. SRA3000, FL, USA) を用いて測定した。

投球動作中の肘関節外反トルクは、WIS (Motus baseball : Pulse Throw Workload Monitor, Drive-line Baseball) とスタンダード法である MCS を用いて同時計測した。WIS のサイズは、長さ 38mm、幅 25mm、高さ 10mm、重さ 6.9g である。また、



図1 ウェアラブル慣性センサの貼付位置

WISの機能性は3軸加速度計(±24G)と3軸のジャイロスコープ(±4000dps), サンプルングレート1000Hzである¹⁰⁾. WISの貼付部位は, 投球側の上腕骨内側上顆から2横指遠位の部位とし, 貼付位置のズレを最小限にするためにテーピングを用いて十分に固定した(図1). MCSを用いた投球動作計測を行うために, 直径12mmの赤外線反射マーカは, 投球側の肩鎖関節部, 上腕骨内・外側上顆, 橈・尺骨の茎状突起, 第3中手骨頭, 胸骨柄, 胸骨剣状突起, 第7頸椎棘突起, 第7胸椎棘突起の計10箇所に貼付した.

投球動作はフラットな地面上で投球プレート位置から11m先にある投球ネットに向けて, 全力のストレート3球を実施した. なお, 投球動作に使用したボールは, 約142gの硬式球を使用した. WISで計測した投球動作中の肘関節外反トルクは, 専用アプリケーションを用いて, 投球動作直後に即時的に算出した. また, 10台のCCDカメラから構成されたMCS(Mac3D; Motion Analysis, Rohnert Park, California, USA)を用いて, 投球動作中の赤外線反射マーカの位置変化を測定した. MCSのサンプルングレートは240Hzとした. MCSを用いた計測データは, ノイズを減少させるために, butter worth filter 13.4Hzにてスムージングした³⁾.

MCSで計測したデータより, 投球動作中の肘関節外反トルクを算出するために, 国際バイオメカニクス学会の方法に準じて, マーカの位置座標から上腕座標系, 前腕座標系, 手部座標系を設定した¹¹⁾. また, 阿江らの方法に準じて, アスリートの身体慣性データ¹²⁾を用いて, 対象者の体格から推

定された手, 前腕, 上腕の質量を推定した. 投球動作中の肘関節外反トルクは, 各セグメントの速度変化と慣性質量のデータを用いて, 手関節, 肘関節の順に遠位から近位方向へ逆動力学的に算出した. なお, MCSを用いた投球解析には, 投球に使用したボールの重さ(142g)も反映させた. 以上の解析は, MATLAB R2023a(MathWorks, MA, USA)を用いて実施した.

WISとMCSを用いた同時計測のデータは投球動作の対象者15名3球ずつの全45球分のデータを使用した. MCSで計測した肘関節外反トルクのデータは, 投球動作中の肩最大外旋時(Maximum External Rotation: MER)の値を本検討に使用した.

統計解析について, データの正規性を確認するために, シャピロウィルク検定を実施した. この結果, 本研究の計測データは全て正規性が認められた. 次に, WISとMCSの計測の信頼性を評価するために, 2つの測定機器で計測した投球動作15名の対象者の計45球分(1名3球分)の肘関節外反トルクの級内相関係数(Intraclass correlations: ICC(1,3))と標準誤差(Standard error of the mean: SEM), 最小可検変化量(Minimal detectable change: MDC)の95%信頼区間(MDC₉₅), 変動係数(Coefficient of variation: CV)のそれぞれを算出した. なお, ICC(1,3)の評価基準は, 先行研究に準じて, excellent reliability(>0.90), good reliability(0.75-0.90), moderate reliability(0.50-0.75), poor reliability(<0.50)とした¹³⁾. 次に, WISの妥当性を検証するために, WISとMCSの肘関節外反トルクは, 対応のあるt検定を用いて比較した. また, ピアソンの積率相関係数も求めた. WISの計測の系統誤差を検証するために, WISとMCSで計測した肘関節外反トルクの差をy軸, 平均をx軸としたブランドアルトマンプロットを作成し, 測定間の誤差の許容範囲(LOA: Limits of Agreement)を求めた. 有意水準は0.05とした. 統計解析ソフトウェアはSPSS Statistics version 28(IBM Corp., Armonk, NY, USA)を用いた.

■ 結 果

本結果は, 表2~4, 図2, 3に示す.

15名の対象者における全45球のWISとMCSを用いた投球動作中の肘関節外反トルクの平均値

(標準偏差)は、それぞれ 43 (4) N/m (WIS), 51 (7) N/m (MCS) であった (表 2)。

3 球分の投球における WIS と MCS を用いた計測の信頼性について、ICC (1,3) はそれぞれ 0.93 (95% 信頼区間 (Confidence Interval : CI) : 0.85~0.98, SEM : 1.12), 0.96 (95%CI : 0.90~0.98, SEM : 1.73) であった (表 3)。また、MDC₉₅ と CV は、WIS : 3.10, 2.7%, MCS : 4.79, 4.8% であった。

相関分析の結果、WIS と MCS で計測した肘関節外反トルクの間には、有意な相関関係があった (R=0.54, 95%CI 0.29~0.72, p<0.01) (表 4)。また、対応のある t 検定の結果、WIS で計測した肘関節外反トルクは、MCS で計測した数値に比較して、有意に低下し (p<0.01)、その平均値 (標準偏差) の差は -7.6 (6.3) N/m であった。

WIS と MCS を用いた肘関節外反トルクの計測値を用いたブランドアルトマンプロットを 図 3 に示す。図 3 より、LOA を超えたケースは、45 球中 3 球 (1 名) であった一方で、45 球中 40 球の肘関節外反トルク値について、WIS のデータは

MCS に比べて低値であった (図 3)。なお、LOA (下限~上限) は、-19.9~4.7 であった。

考察

本研究の目的は、投球動作中の肘関節外反トルクの簡便な計測法である WIS の計測の有用性を検証するために、WIS と MCS を用いて計測した肘関節外反トルク値を比較検討することであった。本研究の主要結果に関して、WIS と MCS を用いた肘関節外反トルクの計測のそれぞれは良好な信頼性があり、相関分析の結果、WIS と MCS 間の計測値には、有意な中程度の相関関係があった。また、ブランドアルトマンプロットより、WIS と MCS を用いた肘関節外反トルクの計測について、LOA を超えたケースは 3/45 球のみであった。一方で、WIS で計測した肘関節外反トルクは、肘関節外反トルク (MCS) に比較して、平均 7.6N/m 有意に低下した。以上のことから、WIS を用いた計測は、信頼性があり、測定機器間の計測値間に関連があった点については、本研究の仮説を部分的に支持した。

WIS と MCS を用いた計測の ICC はそれぞれ 0.93, 0.96 であり、excellent reliability であった。また、WIS の SEM は 1.12, MDC₉₅ は 3.10, CV は 2.7% であり、それぞれ低値であった。先行研究では、WIS (motus baseball) を用いた投球動作中の肘関節外反トルク値の計測の信頼性に関して、

表 2 投球動作中の肘関節外反トルク

WIS [N/m] ^a	MCS [N/m] ^a
43 [4]	51 [7]

WIS : Wearable Inertial Sensor

MCS : Motion Capture System

^a 平均値 [標準偏差]

表 3 投球動作中の肘関節外反トルク計測の再現性

	ICC _{1,3}	95%CI	SEM	MDC ₉₅	CV
WIS	0.93	0.85 ~ 0.98	1.12	3.10	2.7%
MCS	0.96	0.90 ~ 0.98	1.73	4.79	4.8%

WIS : Wearable Inertial Sensor, MCS : Motion Capture System, ICC : Intraclass correlations, 95%CI : 95% Confidence interval, SEM : Standard Error of the Mean, MDC : Minimal Detectable Change, CV : Coefficient of Variation

表 4 測定機器間の投球動作中の肘関節外反トルクの比較

WIS vs MCS	R 値 ^a	95%CI ^a	P 値 ^a	Difference [標準偏差] ^b	95%CI ^b	P 値 ^b
	0.54	0.29 ~ 0.72	<0.01	-7.6 [6.3]	5.7 ~ 9.3	<0.01

WIS : Wearable Inertial Sensor, MCS : Motion Capture System, 95%CI : 95% Confidence Interval

^a ピアソンの積率相関係数, p<0.05

^b 対応のある t 検定, p<0.05

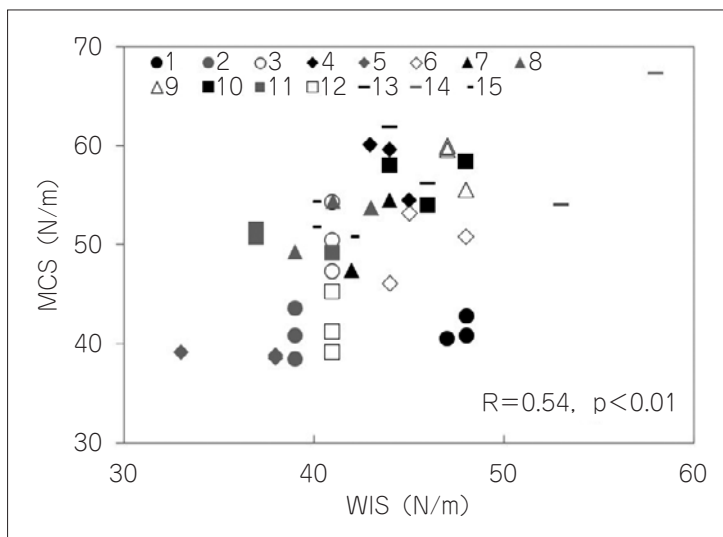


図2 ウェアラブル慣性センサとモーションキャプチャシステムの肘関節外反トルクに関連性 (15名45球分)
WIS ; Wearable Inertial Sensor, MCS ; Motion Capture System

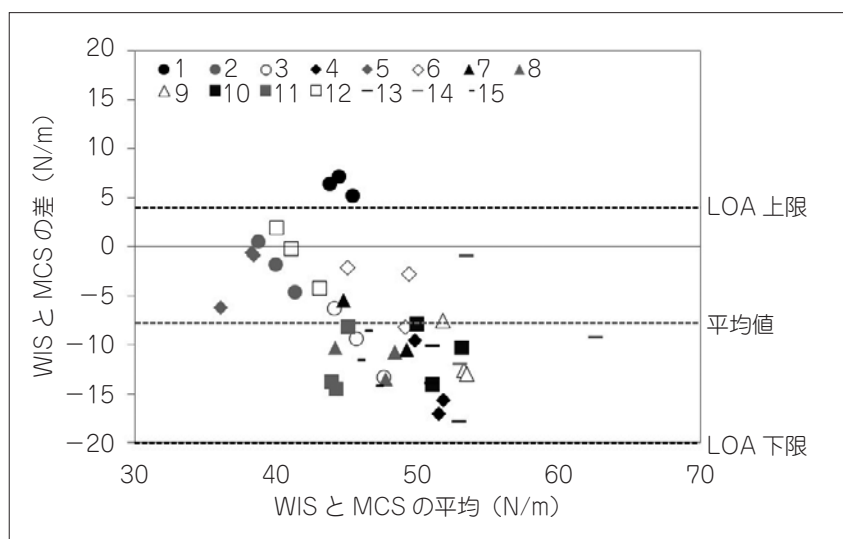


図3 ブランドアルトマンプロット (15名45球分)
WIS ; Wearable Inertial Sensor, MCS ; Motion Capture System
LOA ; Limits of Agreement

Kobayashiらは、全力投球におけるICCは0.985 (95%CI: 0.976~0.991)⁵⁾, Leafbladらは、90フィートの遠投時のICCは0.943 (95%CI: 0.919~0.963), CV 3.7%であった¹⁴⁾ことがそれぞれ報告されている。先行研究の結果と本研究の結果より、WISの計測の信頼性は良好であったことが明らかになった。

WISとMCSで計測した肘関節外反トルクの平均値の差は7.6N/m有意に低値であったが、ブランドアルトマンプロットにおいて、LOAを超えたケースは3/45球(1/15名)のみであった。Camp

らは、WISで計測した肘関節外反トルク値は、MCSと比較して、平均9.4N/m有意に低値であり、ブランドアルトマンプロットでは、WISで計測した肘関節外反トルク値はMCSに対して、LOAを超えたケースは、4/10名であったことを報告している¹⁰⁾。この結果より、WISを用いた肘関節外反トルクの計測の妥当性は不十分であったことが言及されている¹⁰⁾。本研究結果は、偶然誤差ではない件数(LOAを超えたケース)は少数であったが、WISで計測した肘関節外反トルクの計測値については、MCSよりも低値であった点より、

Camp らの結果と近似していたと言える。WIS で計測した投球動作中の肘関節外反トルクが MCS に比較して低値であった理由について、測定機器間の肘関節外反トルクの算出方法が異なるためと推察する。WIS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクの算出方法は肘内側周囲に貼付した一つの慣性センサで計測した加速度データを用いていると考えられる。他方で、MCS を用いた計測は投球側上肢に貼付したマーカの位置変化を計測し、手、前腕セグメントの位置、速度変化、推定された質量、ボール重さなどのデータに基づいて、肘関節外反トルクを算出している。このように、WIS と MCS を用いた肘関節外反トルクの算出方法の違いより、測定機器間の肘関節外反トルク値に差異が生じたと考えられる。

WIS と MCS を用いた肘関節外反トルク値は関連していた ($R=0.54, p<0.01$)。Boddy らは、WIS と MCS で計測した肘関節外反トルク値と肘関節外反トルク間の相関係数は $R=0.667$ ($p=0.001$) であったことを報告しており、本結果と近似した結果であったと言える⁹⁾。本研究と先行研究の結果より、WIS を用いた計測は、個人内の肘関節外反トルクの変化を評価できる可能性がある。WIS と MCS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクの個人内の変化について、WIS を用いた主観的な投球強度 (100, 75, 50%) の条件別の投球動作中の肘関節外反トルクを計測した Lizzio らは、100% 強度 (全力投球) 時の肘関節外反トルクに比して、75% 強度の投球では、11%、50% 強度では 24% 低下したことを報告している¹⁵⁾。また、MCS を用いた Fiegen らの研究でも、100% 強度の全力投球時の肘関節外反トルクに比較して、75% 強度では 19%、50% 強度では 25% 低値を示したことが報告されている¹⁶⁾。これらの先行研究のデータより、各投球強度における WIS で計測した投球動作中の肘関節外反トルク値は、MCS と比較して、肘関節外反トルクの変化率では、WIS と MCS 間で近似した傾向を示していたと言える。WIS と MCS で計測した肘関節外反トルク値間に関連性があった本研究と先行研究の結果を踏まえると、WIS は、投球強度の違いにともなう肘関節外反トルク変化の特徴を簡便に評価できるツールになりえる可能性がある。

WIS を用いた肘関節外反トルクと肘関節機能の関連について、野球選手における WIS で計測し

た投球動作中の肘関節外反トルクの増加と肘関節外反動揺性の低下 (負の相関関係) や尺側副靭帯の厚みの増加 (正の相関関係) 間に関連性があったことが報告されている¹⁷⁾。また、プレシーズンの WIS を用いた投球動作中の肘関節外反トルクは、肘内側の軟部組織への力学的負荷の指標であるシーズン後の尺側副靭帯の厚みの増大に参与する可能性が示されている¹⁸⁾。これらの先行研究より、WIS で計測した投球動作中の肘関節外反トルクは、野球選手の肘関節内側部の軟部組織への力学的負荷にともなう肘関節機能の変化を判別できる可能性がある。以上より、WIS を用いた肘関節外反トルクの評価は、野球選手の肘関節障害の予防やリハビリテーションに貢献する計測手法になりえると考えられる。ただし、WIS で計測した肘関節外反トルク値は MCS で計測した値に比べて、有意に低値である点について十分に留意する必要がある。このことから、今後、MCS よりも低値である WIS の肘関節外反トルク値が肘関節障害の予防やリハビリテーションに貢献するかどうかを詳細に検証することが重要であると考えられる。

研究限界について、三点述べる。第一に、本研究の結果は大学生野球選手を対象としたデータであるため、その他の年代の野球選手の投球動作中の肘関節外反トルクの特徴を言及することはできないことである。第二に、本研究のサンプルサイズは小さいことである。第三に、本研究の対象者の主観的な投球動作は、全力投球 (100% 強度) に限定しているため、その他の強度 (50, 75% など) による投球動作時の肘関節外反トルクの精度は説明できないことである。今後は、本研究のサンプルサイズを増やすとともに、さまざまな年代や投球強度による WIS の計測精度についても検証が必要と考える。

結 語

本研究の目的は、投球動作中の WIS と MCS を用いて計測した肘関節外反トルク値を比較検討することであった。この結果、WIS を用いた計測は、良好な信頼性があった。また、WIS で計測した肘関節外反トルクは MCS に比較して、平均 7.6 N/m 有意に低値を示したが、WIS と MCS を用いた肘関節外反トルクの計測値間には有意な相関関係があった。これらより、WIS で計測した肘関節外反トルクは、MCS に比べて、低値であったが、

測定機器間に関連性があった。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

植田篤史：概念化，データ管理，調査，正式な分析，草稿の執筆

新熊孝文：指導

文 献

- 1) 伊藤博一，眞瀬垣啓，河崎尚史. 年代別肩・肘有痛部位と真下投げ VAS 評価の詳細—野球選手 10,957 名のフィールド調査から. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2009; 17: 362-372.
- 2) Anz AW, Bushnell BD, Griffin LP, et al. Correlation of torque and elbow injury in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med.* 2010; 38: 1368-1374.
- 3) Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ, et al. Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sports Med.* 1995; 23: 233-239.
- 4) Melugin HP, Larson DR, Fleisig GS, et al. Baseball pitchers' perceived effort does not match actual measured effort during a structured long-toss throwing program. *Am J Sports Med.* 2019; 47: 1949-1954.
- 5) Kobayashi Y, Kida Y, Takatsuji K, et al. Effect of quantitative partial valgus stress during baseball pitching on ball velocity and subjective pitch-effort. *J Shoulder Elbow Surg.* 2023; 32: 168-173.
- 6) 内田智也，古川裕之，松本晋太郎，他. 投球動作中のステップ側膝関節動作と肘関節外反トルクの関係性. 理学療法学. 2020; 47: 105-112.
- 7) Okoroha KR, Meldau JE, Jildeh TR, et al. Impact of ball weight on medial elbow torque in youth baseball pitchers. *J Shoulder Elbow Surg.* 2019; 28: 1484-1489.
- 8) Camp CL, Tubbs TG, Fleisig GS, et al. The relationship of throwing arm mechanics and elbow varus torque: within-subject variation for professional baseball pitchers across 82,000 throws. *Am J Sports Med.* 2017; 45: 3030-3035.
- 9) Boddy KJ, Marsh JA, Caravan A, et al. Exploring wearable sensors as an alternative to marker-based motion capture in the pitching delivery. *PeerJ.* 2019; 7: e6365.
- 10) Camp CL, Loushin S, Nezelek S, et al. Are wearable sensors valid and reliable for studying the baseball pitching motion? an independent comparison with marker-based motion capture. *Am J Sports Med.* 2021; 49: 3094-3101.
- 11) Wu G, van der Helm FC, Veeger HE, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion--Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J Biomech.* 2005; 38: 981-992.
- 12) 阿江通良. 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム. 1992; 11: 23-33.
- 13) Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med.* 2016; 15: 155-163.
- 14) Leafblad ND, Larson DR, Fleisig GS, et al. Variability in baseball throwing metrics during a structured long-toss program: does one size fit all or should programs be individualized? *Sports Health.* 2019; 11: 535-542.
- 15) Lizzio VA, Smith DG, Jildeh TR, et al. Importance of radar gun inclusion during return-to-throwing rehabilitation following ulnar collateral ligament reconstruction in baseball pitchers: a simulation study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020; 29: 587-592.
- 16) Fiegen AP, Nezelek SP, Loushin SR, et al. Changes in elbow stress and ball velocity during reduced effort pitching: a marker-based motion capture analysis. *Am J Sports Med.* 2023; 51: 779-785.
- 17) Khalil LS, Meta FS, Tramer JS, et al. Elbow torque is reduced in asymptomatic college pitchers with elbow laxity: a dynamic ultrasound study. *Arthroscopy.* 2021; 37: 852-861.
- 18) Khalil LS, Jildeh TR, Abbas MJ, et al. Elbow torque may be predictive of anatomic adaptations to the elbow after a season of collegiate pitching: a dynamic ultrasound study. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2021; 3: e1843-e1851.

(受付：2023年8月7日，受理：2023年12月12日)

Verification of the usefulness of the wearable inertial sensor for measuring the elbow valgus torque during pitching motion: A comparison with the motion capture system

Ueda, A.^{*1}, Shinkuma, T.^{*2}

^{*1} Department of Rehabilitation Sciences, Faculty of Allied Health Sciences, Kansai University of Welfare Sciences

^{*2} Department of Orthopaedic Surgery, Hankai Hospital

Key words: Pitching, elbow joint, evaluation

[Abstract] This study aimed to assess the usefulness of the wearable inertial sensor (WIS) for measuring the elbow valgus torque during pitching motion. Therefore, we compared between elbow valgus torque measured with the WIS and the marker-based motion capture system (MCS). Fifteen asymptomatic college baseball players participated. Elbow valgus torque was simultaneously measured using WIS and MCS in each participant. Elbow valgus torque was calculated from the WIS by using a dedicated application. Furthermore, elbow valgus torque at maximum shoulder external rotation period with MCS was calculated by inverse dynamics analysis. The intraclass correlation coefficients of WIS and MCS were 0.93 and 0.96, respectively. The elbow valgus torque value calculated via WIS was significantly decreased by 7.6N/m compared with the elbow valgus torque calculated via MCS. However, the elbow valgus torque value calculated via WIS was significantly correlated with the elbow valgus torque calculated via MCS ($R=0.54$, $p<0.01$, 95% confidence interval 0.29~0.72). Our findings revealed that the elbow valgus torque measured using the WIS decreased as compared to that measured using the MCS, and values of WIS and MCS related to between measurement device.