

博士学位論文審査報告書

大学名	早稲田大学		
研究科名	スポーツ科学研究科		
申請者氏名	小沼 憲吾		
学位の種類	博士（スポーツ科学）		
論文題目	肘関節外反スタビライザーとしての屈曲回内筋群のはたらき～投げ型運動における肘関節内側部組織への外反荷重に抗う内反筋力の定量化 Varus strength of elbow musculature as an active valgus stabilizer: Its function to reduce valgus loading on medial elbow structures in throw-like motions		
論文審査員	主査	早稲田大学教授	矢内 利政 Ph.D. (University of Iowa)
	副査	早稲田大学教授	金岡 恒治 博士（医学）（筑波大学）
	副査	早稲田大学教授	平山 邦明 博士（スポーツ科学）（早稲田大学）

骨格筋には、身体運動を起こすはたらきだけでなく、関節の過剰な運動を抑制するdynamic stabilizer としてのはたらきもある。このはたらきを担う筋力が不足する場合、関節に大きなストレスがかかりオーバーユース障害に発展する可能性がある。本学位論文は、肘関節内側部を走行する筋群による肘関節外反抑制機能に着目し、この筋力を定量化することを通じて肘関節外反ストレス性障害のリスクを評価することを試みたものである。本学位論文は緒言（第1章）、肘内反筋力の測定方法の開発（第2章）、若年青年男性における肘内反筋力の定量化（第3章）、肘関節外反ストレス性障害の発症頻度と肘内反筋力の関係を分析した研究（第4章）、総括論議（第5章）で構成される。

第1章 序論

肘関節外反ストレス障害は投げ型運動を繰り返すスポーツで共通して起こる障害である。この障害の主たる力学的発生原因は上肢を高速で振り抜く際に肘関節尺側側副靭帯（UCL）に加えられる外反荷重である。外反ストレス障害の予防において、様々な対策が施されているものの、スポーツ動作時に UCL に作用する荷重を低減する効果的な対策には至っていない。肘関節の内側を走行する筋が有する dynamic stabilizer としてのはたらきを強化することがスポーツ動作時に UCL に加わる外反荷重を低減する一つの方略として期待されているものの、これまでの研究では dynamic stabilizer を鍛えることがスポーツ動作時に UCL に加わる外反荷重の低減に有効かどうかは定量的に示されていない。その主な理由は、dynamic stabilizer が発揮する肘関節内反方向へ発揮される筋力を計る方法論がなく、肘内反筋力の大きさを定量化できないために、UCL に作用する外反荷重を推定できない点にある。そこで本学位論文では、スポーツ動作時に UCL に作用する外反荷重の大きさを推定することを目的とし、次の三つの研究を実施した。

- ① 肘内反筋力を計る測定方法の開発
- ② 若年成人男性における肘内反筋力の定量化とそれを規定する身体因子の検討

- ③ スポーツ動作時に発揮される肘関節内反トルクの総量に対する内反筋力の大きさの定量化と UCL に加わる外反荷重の検討

第2章 肘内反筋力を計る測定方法の開発

本章の研究成果は学術論文 (Onuma K, Yanai T. 2023) に掲載されているため、本章ではその概要のみが記された。

対象者は健常な若年成人男性 20 名であった。肘関節 90° 屈曲位で、上腕骨長軸とダイナモメータの回転軸が一致する姿勢で対象者を筋力測定機に固定することで、肩内旋トルクと肘内反トルクが同値として測定できるように設定した。各対象者には、内反筋群を最大下で収縮させた状態で、肩関節内旋筋群の等尺性随意収縮を2秒かけて最大収縮に達するようランプ状に発揮させた。計測された肘内反トルクは、UCL や関節包の伸長によって生じる弾性力に起因する内反トルクと筋の収縮力に起因する内反トルクの総和となる。筋収縮に起因するトルクのみを計測するため、Bモード超音波装置を用いて力発揮中の腕尺関節内側部を撮像することで、上腕骨滑車内側遠位端と尺骨 sublime tubercle 内側近位端の距離を関節間のgapとして算出できるようにした。Gapが予め各対象者から測定した閾値を超えない範囲で測定された内反トルクを対象者の肘内反筋力とした。二人の検者が各対象者に対して一連の測定を個別に実施し、測定手法の検者間信頼性を評価した。その結果、測定された内反筋力の検者間信頼性は高く (ICC (2, 1) = 0.91)、本測定手法が内反筋力を信頼性高く測定できることが示された。

第3章 若年成人男性における肘内反筋力の定量化とそれを規定する身体因子

身体的に活動的な若年成人男性 78 を対象とし、開発した方法論を用いて内反筋力と身体的特徴を表すデータ (体格、前腕長、前腕周径、肘関節幅、握力) を測定した。内反筋力を規定する因子を探るため、Pearson の相関分析とステップワイズ重回帰分析を実施した。分析の結果、若年成人男性の内反筋力は平均で 51 Nm であり、最大値と最小値には 70 Nm に達する幅があった (24-97 Nm)。また、内反筋力は体格の大きさや、前腕の寸法、肘関節の幅、握力と正の相関関係にあることが明らかとなった。特に前腕周径と強い相関関係にあった。重回帰分析の結果、前腕周径と肘関節幅が個人差の大きな内反筋力の 64% を説明する変数として選択された。これらの結果から内反筋力は、大きな個人差を含む変数であり、その大きさは様々な身体因子によって影響を受け、特に前腕の太さによって強く規定されることが明らかとなった。

第4章 スポーツ動作時の肘内反トルクに対する内反筋力の大きさと UCL への外反荷重

本研究では二つの仮説を検証した。(1) スポーツ動作時に観察される内反トルクの最大値は、内反筋力と static stabilizer (靭帯や関節包、骨格構造による安定機構) の生理的に安全な上限値の和 (生理的安全限界と呼ぶ) を超えない。(2) 外反ストレス障害の発生頻度が高い種目ほどスポーツ動作時に観察される最大内反トルクと生理的安全限界の差は小さい。これらの仮説を検証するため、スポーツ動作時の最大内反トルクに関する系統的レビュー、および、メタ分析を行った。外反ストレス障害の発生頻度が異なる種目を対象とし、それぞれを障害の発生頻度順に高頻度群 (野球)、中頻度群 (アメリカンフットボール、水球、テニス)、低頻度群 (卓球) に振り分けた。対象とした種目の選手の内反筋力は、研究②で体格と内反筋力に有意な正の相関関係があった結果に基づいて、体格データから推定され

た. z 検定を用いて仮説 (1) を検定した. 仮説 (2) については, 効果量の大きさの順位と外反ストレス障害の発生頻度の順位との一致をもって仮説が支持されるものとした. 分析の結果, 外反ストレス障害の発生頻度に関わらず, 対象とした全ての種目においてスポーツ動作時に必要とされる最大内反トルクの平均値は生理的安全限界の平均値を下回ることが明らかとなった. また, 外反ストレス障害の発生頻度が高い種目ほど生理的安全限界の平均値を上回る最大内反トルクを必要とするサンプルの割合が高いことが確認された. この結果は障害の発生頻度が高い種目では, スポーツ動作時に UCL に微細損傷や断裂をもたらし得る深刻な外反荷重が加わる確率が高いことを示唆するものであった.

第5章 総括論議

一連の研究成果から, 肘関節内反筋力の大きさはスポーツ動作時に UCL に作用する外反荷重が生理的に安全な範囲に留まるか否かに関わる重要な因子であること, ならびに, 外反ストレス障害の発生頻度が高いスポーツ種目の動作では, 微細損傷や断裂をもたらし得る外反荷重が UCL に作用しやすいことが示唆された. 障害の発生頻度が高い種目に従事するスポーツ選手においては, 内反筋力不足を解消し, UCL に作用する外反荷重を低減するため, 前腕を太くするトレーニングが推奨される.

本論文の評価

本博士論文における研究内容は高度な専門的知識に基づいた研究成果であり、独創性と学術的意義をもつことが論文審査員全員一致で確認された。また、本博士論文を構成する全ての各論は、申請者が主査の指導のもとで博士後期課程の大学院生として実施したものであることも確認された。上記のような評価を得て、本審査委員会は小沼憲吾氏の学位申請論文が博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

なお、本学位申請論文の一部が掲載された学術論文は以下の通りである。

Onuma K, Yanai T. A method for measuring muscle strength in restraining valgus joint angulation: Elbow varus muscle strength against valgus loading. *Journal of Biomechanics*. 2023;147:111427. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.111427>.

以 上