

ゼロポジション近似肢位での 肩外旋筋力と投球動作中の胸郭肢位との関連

Relationship between shoulder external rotation muscle strength in
approximate zero position and thorax position during pitching motion

田村将希*^{1,2}, 阿蘇卓也*², 野口 悠*^{2,3}
古屋貫治*^{1,5}, 三邊武幸*¹, 西中直也*^{1,3,4,5}

キー・ワード : zero external rotation muscle strength, anteroposterior tilt angle of the thorax, maximum external rotation

Zero 外旋筋力, 胸郭前後傾角, 肩最大外旋位

〔要旨〕 本研究の目的は、ゼロポジション近似肢位での肩外旋（Zero 外旋）筋力と投球動作中の肩最大外旋位（MER）での胸郭肢位との関係を調査することである。

対象は健常成人男性 14 名とした。Zero 外旋筋力は徒手筋力計を用いて、肩ゼロポジション近似肢位、肘屈曲 90 度にて等尺性肩外旋筋力を計測した。また、3 次元動作解析装置を用いて投球動作の 3 次元動作解析を行い、MER での胸郭角度（前傾角、側方傾斜角）と最大肩内旋モーメントと最大肘内反モーメントを算出した。統計解析には spearman の順位相関係数を用い、Zero 外旋筋力と各パラメーターとの相関関係を検討した。有意水準は 5% 未満とした。

Zero 外旋筋力は 41.6N（以下、中央値）、Zero 外旋筋力体重比は 0.58N/kg であった。前傾角は 15.2°、側方傾斜角は 18.1° であった。最大肩内旋モーメント（MIRM）は 0.31Nm/kg、最大肘内反モーメント（MVM）は 0.32Nm/kg であった。Zero 外旋筋力と前傾角との間に、正の相関関係があった（ $\rho=0.76$, $p=0.0015$ ）。Zero 外旋筋力と MIRM（ $\rho=-0.65$, $p=0.01$ ）と MVM（ $\rho=-0.56$, $p=0.03$ ）との間には負の相関関係があった。

Zero 外旋筋力が高値を示すものは、MER での胸郭前傾角が大きくなる可能性がある。

緒 言

投球動作の後期コッキング期では、上腕骨が肩甲骨面上に位置するゼロポジションに近い肢位を取ることが、障害予防のために重要である¹⁾。我々は過去の報告において、ゼロポジション近似肢位を肩甲骨面上で肩甲棘と上腕骨長軸が 1 直線上に配列する肢位とし、その肢位での肩外旋筋力を

Zero 外旋筋力と定義した²⁻⁶⁾。そして、投球障害症例では Zero 外旋筋力の低下が生じることや、Zero 外旋筋出力時に代償動作が出現することを報告してきた²⁻⁶⁾。Zero 外旋筋力は、加速期で生じる肘伸展運動のための準備肢位を保持するために重要であると報告されている^{7,8)}。また、ゼロポジションでは、肩甲上腕関節での回旋は生じないと考えられており⁹⁾、田中ら¹⁰⁾はゼロポジションにおける回旋筋力の力源は、肩甲胸郭関節が主導していると報告している。このように、Zero 外旋筋力を発揮するためにも胸郭・肩甲骨の運動参加は重要な因子と考える。

投球動作では肩最大外旋位（Maximum external rotation : MER）で約 28~64Nm の肘内反トルクと約 30~68Nm の肩内旋トルクが生じると

*1 昭和大学スポーツ運動科学研究所

*2 昭和大学藤が丘リハビリテーション病院リハビリテーションセンター

*3 昭和大学保健医療学部理学療法学科

*4 昭和大学大学院保健医療学研究科

*5 昭和大学藤が丘病院整形外科

Corresponding author : 西中直也 (nissieflor@med.showa-u.ac.jp)

表 1 マーカー貼付位置

セグメント	貼付位置
頭部 (4カ所)	左右前頭部, 左右後頭部
上肢 (左右 14カ所)	肩鎖関節, 上腕部, 外側上顆, 前腕部, 橈骨茎状突起, 尺骨茎状突起, 第2中手骨頭
胸郭 (5カ所)	C7, Th10, 胸骨切痕, 剣状突起, 右肩甲骨
骨盤 (4カ所)	左右上前腸骨棘, 左右上後腸骨棘
下肢 (左右 12カ所)	大腿部, 膝関節, 脛骨部, 外果, 踵部, 第2中足骨

plug in gait full body のマーカーセットに準じ, 全身 39カ所に貼付

報告されている¹¹⁾. これらの力学的負荷が増大することによって投球障害につながると考えられており¹²⁾, 投球障害予防のために過度な力学的な負荷は軽減させるべきである. 宮下ら^{13,14)}は, MERで生じる肩外旋運動は, 肩甲上腕関節外旋, 肩甲骨後傾, 胸椎伸展で構成されると報告している. 投球障害症例では, 同相での胸郭・肩甲骨の運動参加が適切に行われず, 肩甲上腕関節に依存した外旋運動となり, 肩甲上腕関節への負荷を増大させていることが多い. MERでの肩甲上腕関節と肘関節への力学的負荷軽減のためには, MERでの胸郭・肩甲骨・肩甲上腕関節の協調した運動が不可欠となる.

Zero外旋筋力が低下しているものは胸郭や肩甲骨の機能低下が存在することが多いため, MERにおいても胸郭や肩甲骨の運動参加は不十分であると考えられる. Zero外旋筋力とMERでの胸郭肢位の関係を明らかにすることで, Zero外旋筋力と投球動作の関係の一側面を検討できると考える. しかし, Zero外旋筋力とMERでの胸郭肢位との関係性は検討されていない. 本研究の目的は, Zero外旋筋力と投球動作中の胸郭肢位との関係性を検討することとした. 仮説はZero外旋筋力と骨盤に対する胸郭前傾角との間には負の相関関係があるとした.

対象および方法

対象は野球歴約10年の成人男性14名とした. 以下, 中央値(四分位範囲)として記載する. 年齢は22.0(21.0-25.2)歳, 身長は171.5(167.8-174.2)cm, 体重は69.0(62.9-75.7)kg, 野球歴は10.5(8.0-12.3)年であった. 投球側は右投げ11名, 左投げ3名, ポジションはピッチャー5名, キャッチャー3名, 内野手3名, 外野手3名であった. 対象者の中で, 肩関節や肘関節に疼痛を有しているものはいなかった. なお, 本研究は昭和大学保健医療学

部倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号: 379).

投球動作解析は, 2台の床反力計(BP400600-OP-2K-STT, Advanced Mechanical Technology社)と9台の赤外線カメラ(サンプリング周波数240Hz)で構成される3次元動作解析装置(Vicon MX, Vicon Motion System社)を用いて計測した. この際, 5m先の目標物に向かって, 5球の全力投球を行わせた. 最大肩内旋モーメントと最大肘内反モーメントが, 最も大きく出現した1球を解析対象とした. Plug in gait full bodyのマーカーセットに準じ, 全身39か所に赤外線マーカーを貼付し(表1), Nexus plug in gaitモデルを作成した. 第7頸椎, 第10胸椎, 胸骨切痕, 剣状突起の4点からなるセグメントを胸郭セグメントとして定義し, 胸郭座標系を設定した. 解析には, 解析ソフトNexus2.3(Vicon Motion System社)を用い, MERでの胸郭肢位と最大肩内旋モーメント・最大肘内反モーメントを算出した. 胸郭肢位の定義は, 全体座標系に対する胸郭前傾角, 全体座標系に対する胸郭側方傾斜角, 骨盤に対する胸郭前傾角, 骨盤に対する胸郭側方傾斜角とし, これら4肢位の角度を算出した. 胸郭セグメントの角度定義として, 胸郭前傾角は全体座標系に対し前傾する方向をプラス, 後傾する方向をマイナスとした. 骨盤に対する胸郭前傾角は, 骨盤に対し胸郭セグメントが前傾する方向をプラス, 後傾する方向をマイナスとした. 側方傾斜に関しては, 非投球側へ傾く方向をプラス, 投球側へ傾く方向をマイナスとした(図1).

Zero外旋筋力の測定には, ハンドヘルドダイナモメーター(モービィ, 酒井医療株式会社)を使用し, 立位で行った. 上肢の測定肢位は, 肩ゼロポジション近似肢位(肩甲骨面上で, 肩甲棘と上腕骨長軸が1直線上に配列), 肘屈曲90°, 前腕回内外中間位とした. この肢位で, 肩水平外転の代償

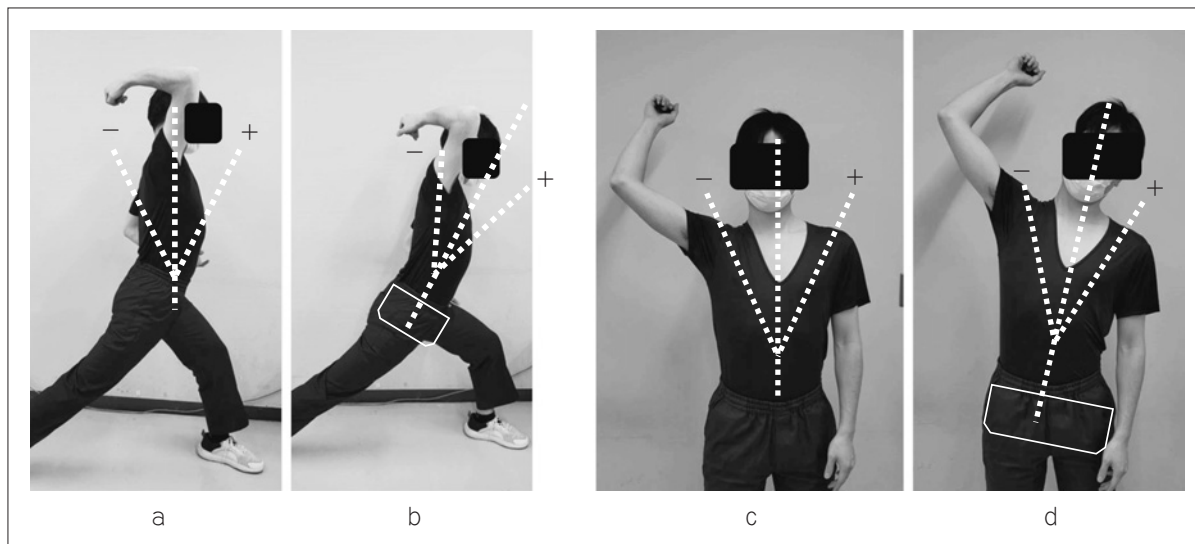


図1 角度定義

- a: 全体座標系に対する胸郭前傾角. 前傾方向+, 後傾方向-
- b: 骨盤に対する胸郭前傾角. 骨盤セグメントに対し胸郭前傾方向+, 後傾方向-
- c: 全体座標系に対する胸郭側方傾斜角. 非投球側方向への傾斜を+, 投球側方向への傾斜を-
- d: 骨盤に対する胸郭側方傾斜角. 骨盤セグメントに対し, 非投球側方向への傾斜を+, 投球側方向への傾斜を-



図2 Zero 外旋筋力測定方法

実線: 肩甲棘, 破線: 上腕骨長軸.
肩甲棘と上腕骨長軸を肩甲骨面上で1直線上に配列させる. その肢位での等尺性肩外旋筋力を測定.

動作⁵⁾ が出現しない範囲での最大等尺性肩外旋筋力を測定した(図2). 明らかな代償動作などが生じた場合は測定をやり直した. 測定は3回行いその平均値を算出した⁶⁾.

統計解析には統計解析ソフト JMP pro. 16.0.0

(SAS社)を用いて行った. 解析には Spearman の順位相関係数を用い, Zero 外旋筋力と全体座標系に対する胸郭前傾角, 全体座標系に対する胸郭側方傾斜角, 骨盤に対する胸郭前傾角, 骨盤に対する胸郭側方傾斜角, 最大肩内旋モーメント, 最大肘内反モーメントとの相関関係を検討した. 有意水準は5%未満とした.

■ 結 果

各パラメーターの測定結果を表2に示した. Zero 外旋筋力と全体座標系に対する胸郭前傾角との間には, 強い正の相関関係があった($\rho=0.76$, $p=0.0015$, 図3-a). Zero 外旋筋力と骨盤に対する胸郭前傾角との間には有意な相関関係はなかった($\rho=0.47$, $p=0.08$). また, 骨盤に対する胸郭前傾角の値は最小で -32.3° , 最大で -4.4° (中央値 -21.0°)となり, 全例で負の値を示した(図3-b). Zero 外旋筋力と全体座標系に対する胸郭側方傾斜角($\rho=0.03$, $p=0.91$), 骨盤に対する胸郭側方傾斜角($\rho=0.45$, $p=0.10$)との間には相関関係はなかった(図3-c, 図3-d). Zero 外旋筋力と最大肩内旋モーメント($\rho=-0.65$, $p=0.01$)と最大肘内反モーメント($\rho=-0.56$, $p=0.03$)との間には有意な負の相関関係があった(図4). Zero 外旋体重比との間には有意な相関関係がある項目はなかった(表3).

表2 各パラメーターの測定結果

計測項目	計測値
Zero 外旋筋力 (N)	41.6 (35.3-49.8)
Zero 外旋筋力体重比 (N/kg)	0.58 (0.54-0.68)
胸郭前傾角 (°)	15.1 (7.2-20.5)
骨盤に対する胸郭前傾角 (°)	-21.0 (-24.0-16.5)
胸郭側方傾斜角 (°)	17.5 (14.4-27.1)
骨盤に対する胸郭側方傾斜角 (°)	20.7 (16.1-27.7)
骨盤前傾角 (°)	31.5 (27.8-37.5)
骨盤側方傾斜角 (°)	4.5 (-0.2-11.2)
最大肩内旋モーメント (Nm/kg)	0.31 (0.28-0.49)
最大肘内反モーメント (Nm/kg)	0.32 (0.29-0.52)

* 中央値 (四分位範囲)

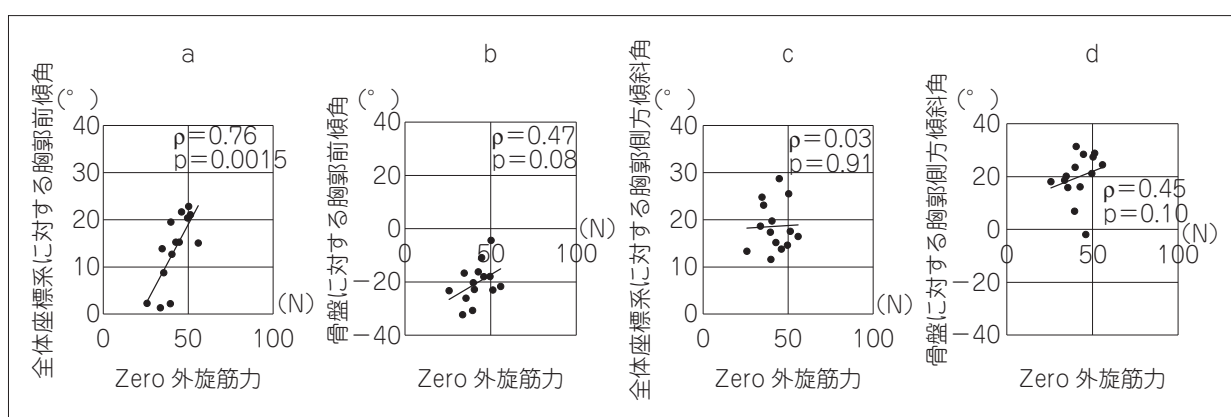


図3 Zero 外旋筋力と胸郭前傾角および胸郭側方傾斜角との相関関係

a : Zero 外旋筋力と全体座標系に対する胸郭前傾角との相関関係。

b : Zero 外旋筋力と骨盤に対する胸郭前傾角との相関関係。

骨盤に対する胸郭前後傾角は全例で負の値を示した。

c : Zero 外旋筋力と全体座標系に対する胸郭側方傾斜角との相関関係。

d : Zero 外旋筋力と骨盤に対する胸郭側方傾斜角との相関関係。 * ρ : 相関係数

考 察

本研究は、Zero 外旋筋力と骨盤に対する胸郭前傾角との間には、負の相関関係があるという仮説のもと、Zero 外旋筋力と MER での胸郭肢位との関係を調査する目的で行った。その結果、Zero 外旋筋力と骨盤に対する胸郭前傾角には相関関係はなかったが、Zero 外旋筋力と全体座標系に対する胸郭前傾角との間には正の相関関係があった。

仮説では Zero 外旋筋力と骨盤に対する胸郭前傾角との間には負の相関関係があると予想したが、相関関係はなかった。その理由として、Zero 外旋筋力と全体座標系に対する胸郭前傾角と骨盤前傾角との相関関係では、胸郭前傾角のみに相関関係があり、骨盤前傾角には相関がなかったため

であると考えられる。

一方で、Zero 外旋筋力と胸郭前傾角の間には強い正の相関関係があった。健常者の Zero 外旋筋力は前鋸筋筋力と正の相関関係があると報告されている⁶⁾。つまり、Zero 外旋筋力が高値を示すものは、Zero 外旋筋力発揮時に前鋸筋の作用である肩甲骨後傾と、肩甲骨後傾と同時に生じる胸郭伸展の運動ができていている可能性がある。これらの運動参加が可能となっていると MER での胸郭前傾角が高値を示しても、実際の投球場面では肩甲骨後傾と胸郭伸展運動を伴いながらの胸郭前傾位となっていると考えられる。骨盤に対する胸郭前傾角との間に相関はなかったものの、骨盤に対する胸郭前傾角は全例で負の値を示していることから、胸郭は骨盤に対し伸展位を取りながら前傾し

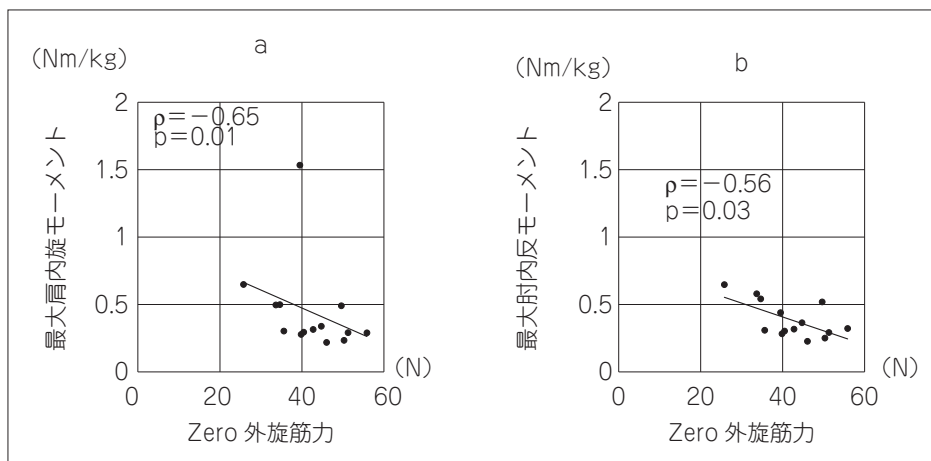


図4 Zero 外旋筋力と肩肘関節モーメントとの相関関係
 a : Zero 外旋筋力と最大肩内旋モーメントとの相関関係.
 b : Zero 外旋筋力と最大肘内反モーメントとの相関関係. ρ : 相関係数

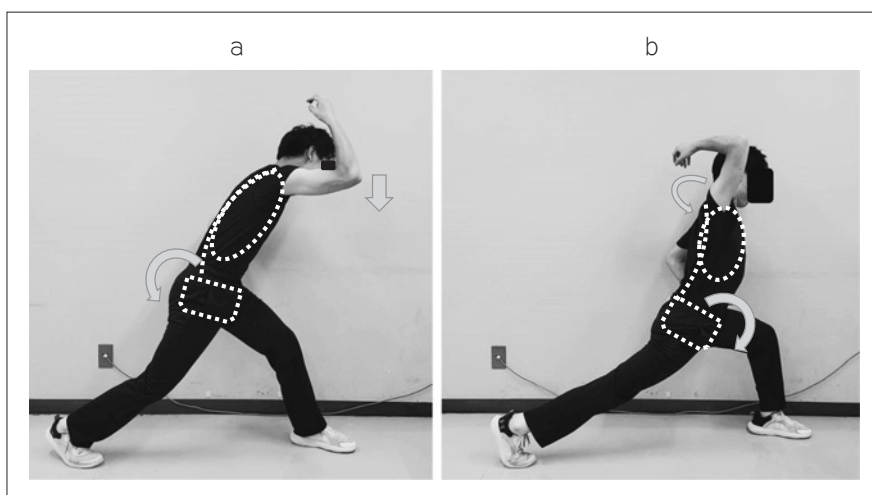


図5 後期コッキング期での胸郭肢位の違い
 a : 骨盤後傾位
 b : 骨盤前傾位では、骨盤に対し胸郭は伸展位を取る

表3 Zero 外旋筋力と各計測項目との相関係数

計測項目	Zero 外旋筋力 (N)	Zero 外旋筋力体重比 (N/kg)
胸郭前傾角 (°)	0.76, 0.0015	0.41, 0.13
骨盤に対する胸郭前傾角 (°)	0.47, 0.08	0.31, 0.26
胸郭側方傾斜角 (°)	0.03, 0.91	0.24, 0.40
骨盤に対する胸郭側方傾斜角 (°)	0.45, 0.40	0.40, 0.15
骨盤前傾角 (°)	0.52, 0.05	0.04, 0.87
骨盤側方傾斜角 (°)	0.27, 0.33	0.31, 0.26
最大肩内旋モーメント (Nm/kg)	-0.65, 0.01	-0.26, 0.36
最大肘内反モーメント (Nm/kg)	-0.56, 0.03	-0.24, 0.39

*相関係数, p 値

ていることがうかがえる (図5)。ただし, Zero 外旋筋力体重比との間には有意な相関関係はなかつ

た. Zero 外旋筋力値や胸郭肢位は体格の影響を受ける可能性があり, 今後の検討課題と考えられる。

Zero 外旋筋力と最大肩内旋モーメントと最大肘内反モーメントとの間には負の相関関係があった。前述したように、Zero 外旋筋力が高値を示すものは、Zero 外旋筋力発揮時に肩甲骨後傾と胸郭伸展の運動参加ができていない可能性があり、MER においても肩甲骨後傾と胸郭伸展運動を行えていない可能性がある。MER において力学的負荷を軽減するために肩甲骨後傾や胸郭伸展運動は必要である^{15,16)}。よって、Zero 外旋筋力が高値を示すものは肩甲骨・胸郭の運動参加を行えるため、関節モーメントは低値を示す負の相関関係を示したと考察する。

本研究の限界点として、投球障害症例での計測が行えていないことと、屋内での計測であり実際の投球環境とは大きく異なる点が挙げられる。しかし、本研究の結果から、Zero 外旋筋力と MER での胸郭前傾角には相関関係があることが分かった。今後は、投球障害症例との比較を行い、障害との関連を明らかにする必要があると考える。

結 語

本研究は、野球歴約 10 年の野球経験者 14 名を対象に、Zero 外旋筋力と投球動作中の胸郭肢位との関係性を調査する目的で行った。その結果、Zero 外旋筋力と投球動作中の胸郭前傾角との関係には強い正の相関関係があり、最大肩内旋モーメントと最大肘内反モーメントとの間には負の相関関係があった。以上から、Zero 外旋筋力が高値を示すものは、投球動作中の胸郭前傾角が大きくなる可能性がある。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- Konda S, Yanai T, Sakurai S. Configuration of the shoulder complex during the arm-cocking phase in baseball pitching. *Am J Sports Med.* 2015; 43: 2445-2451.
- 阿蘇卓也, 田村将希, 千葉慎一, 他. 上腕骨離断性骨軟骨炎症例におけるゼロポジション近似肢位での肩関節外旋筋力及び肘関節伸展筋力の調査. *日肘会誌.* 2019; 26: 169-173.
- 阿蘇卓也, 田村将希, 尾崎尚代, 他. 上腕骨離断性骨軟骨炎症病変部不安定性と上肢筋力の関係性. *日肘会誌.* 2021; 28: 125-129.
- 田村将希, 西中直也. 【機能的アプローチからみる肘のスポーツ障害治療】成人肘内側障害に対する機能的アプローチ ゼロポジション保持機能に着目したアプローチ. *整形外科最少侵襲手術ジャーナル.* 2020; 96: 38-44.
- 西中直也, 鈴木 昌, 田鹿佑太郎, 他. 野球選手の投球側・非投球側における Zero 外旋テスト, Zero リリーステストの代償運動出現の差に関して. *肩関節.* 2021; 45: 378-381.
- 高橋知之, 田村将希, 尾崎尚代, 他. ゼロポジション保持機能と肩甲骨周囲筋筋力の関係. *整スポ会誌.* 2020; 40: 303-308.
- 山口光圀, 筒井廣明. 投球障害肩におけるゼロポジション外旋筋力評価の意義—ボール投げ挙げ動作に見られる特徴との関連—. *肩関節.* 2004; 28: 611-614.
- 千葉慎一, 山口光圀, 三原研一, 他. 小・中学生の野球患者におけるゼロポジション外旋筋力評価の意義. *日肘会誌.* 2005; 12: 73-74.
- Saha AK. Zero position of the glenohumeral joint: its recognition and clinical importance. *Ann R Coll Surg Engl.* 1958; 22: 223-226.
- 田中直史, 大沢正秀, 大槻伸吾, 他. いわゆるゼロ・ポジションにおける肩内外旋筋力の力源について. *臨床スポーツ医学.* 1996; 13: 1050-1053.
- Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, et al. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J Biomech.* 1999; 32: 1371-1375.
- Fleisig GS, Dillman CJ, Andrews JR, et al. Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanics. *Am J Sports Med.* 1995; 23: 233-239.
- 宮下浩二, 浦辺幸夫, 小林寛和, 他. 投球動作の肩最大外旋位における肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節および胸椎の角度. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2008; 16: 386-394.
- 宮下浩二, 小林寛和, 越田専太郎, 他. 投球動作の最大外旋角度に害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.* 2009; 58: 379-385.
- 宮下浩二, 小林寛和, 越田専太郎, 他. 投球動作における肩最大外旋角度と肩甲上腕関節および肩甲胸郭関節の可動域の相関. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2009; 17: 573-579.
- 伊藤孝信, 福吉正樹, 永井教生, 他. 前胸部柔軟性

Relationship between shoulder external rotation muscle strength in approximate zero position and thorax position during pitching motion

Tamura, M^{*1,2}, Aso, T^{*2}, Noguchi, Y^{*2,3}
Furuya, K^{*1,5}, Sanbe, T^{*1}, Nishinaka, N^{*1,3,4,5}

*¹ Showa University Research Institute for Sport and Exercise Sciences

*² Department of Rehabilitation, Showa University Fujigaoka Rehabilitation Hospital

*³ Department of Physical therapy, Showa University School of Nursing and Rehabilitation Sciences

*⁴ Showa University Graduate School of Health Sciences

*⁵ Department of Orthopaedic Surgery, Showa University Fujigaoka Hospital

Key words: zero external rotation muscle strength, anteroposterior tilt angle of the thorax, maximum external rotation

[Abstract] The aim of this study was to investigate the relationship between shoulder external rotation (ER) muscle strength in the zero position (zero ER strength) and the thorax position at the shoulder's maximum external rotation during the late cocking phase (MER).

A total of 14 healthy adult men participated in this study. Zero ER strength was measured using a handheld dynamometer with the shoulder in the zero position and the elbow in 90° flexion. A three-dimensional motion capture system was used to assess the thorax angle (anteroposterior tilt angle and lateral tilt angle) at MER and maximum shoulder internal rotation moment (MIRM) and elbow varus moment (MVM). The relationship between zero ER strength and thorax angle and MIRM and MVM were calculated using Spearman's rank correlation coefficient.

The zero ER strength positively correlated with the thorax anterior tilt angle ($\rho=0.76$, $p=0.00015$). Additionally, the zero ER strength negatively correlated with MIRM and MVM ($\rho=-0.65$, $p=0.01$; $\rho=-0.56$, $p=0.03$, respectively).

People with high zero ER strength values may have a large anterior tilt angle of the thorax during the throwing motion.