

女子体操選手を対象とした 超音波診断装置による倒立動作時の 遠位橈尺関節動態評価

Evaluation of distal radioulnar joint kinematics during handstand using
ultrasonography in female gymnasts

西村信哉*^{1,2}, 津田英一*²

キー・ワード : female gymnasts, DRUJ, ultrasonography

女子体操選手, DRUJ, 超音波診断装置

〔要旨〕 (緒言) 体操選手の手関節痛発生頻度は男子よりも女子が多く、手関節荷重背屈位による疼痛発生が多いとされている。しかし、成長期前後における荷重背屈位における遠位橈尺関節 (DRUJ) の動態は解明されていない。本研究の目的は女子体操選手を対象とし倒立動作時の DRUJ の動態を超音波診断装置により定量評価し年代別に比較することである。

(対象および方法) 女子体操選手 28 名 56 手 (小学生 9 名, 中学生 5 名, 高校生 14 名) を対象とした。測定肢位は非荷重での手関節中間位, 背屈位, 倒立による荷重背屈位の 3 条件とした。超音波診断装置を用いて DRUJ を撮影し, 3 肢位で掌背側距離, 橈尺側距離を測定し, 手関節中間位と荷重背屈位で変化量を求めた。統計解析は一元配置分散分析を施行後多重比較を実施し, 有意水準は 5% とした。

(結果) 掌背側距離の変化量は小学生群 3.5mm, 中学生群 0.9mm, 高校生群 0.7mm であり, 高校生群は小学生群と比較し有意に変化量が小さかった ($p < 0.05$)。橈尺側距離は荷重背屈位で増大し, 変化量は小学生群 1.3mm, 中学生群 3.0mm, 高校生群 5.0mm と高校生群は小学生群と比較し有意に変化量が大きかった ($p < 0.05$)。

(考察) 小学生群では掌背側距離の変化が橈尺側間距離の変化量よりも大きく, 高校生群では逆の結果となった。体操競技の手関節障害発生機序は成長に伴い変化する可能性があると考えられた。

緒 言

体操競技には他のスポーツと比較して上肢への荷重機会が多いという特徴があり, 後方転回時には手関節への負荷が体重の 2 倍になるとされている¹⁾。結果として手関節痛の発症頻度は高く, 95% の体操選手が手関節痛を経験するとの報告がある²⁾。また, 手関節痛の有病率には性差があるとされ, 女子体操選手では 87.5% と男子体操選手の 50% に比較し高率であると報告されている³⁾。

手関節痛の発生要因としてあん馬や床運動など

の背屈位で荷重する動作が挙げられており, 側転やロンダート (側方倒立回転飛び 1/4 ひねり後ろ向き) による症状発現は全体の 30% を占めるとされている⁴⁾。疼痛発生メカニズムとして, 荷重により橈骨月状骨間におけるインピンジメントが生じるため⁵⁾, 小児期においては骨端・骨端線損傷が生じるためとされている⁶⁾。器質的損傷が生じる部位も各年代により異なり, 橈骨骨端線損傷は 10-12 歳の小児期に多いとされ, 三角線維軟骨複合体 (Triangular fibrocartilage complex : TFCC) 損傷は成長期以降に生じることが多とされている。

我々は高校生女子体操選手を対象として, 遠位橈尺関節 (Distal radioulnar joint : DRUJ) の動態を超音波診断装置を使用して測定してきた⁷⁾。しか

*1 弘前大学医学部附属病院リハビリテーション部

*2 弘前大学大学院医学研究科リハビリテーション医学講座

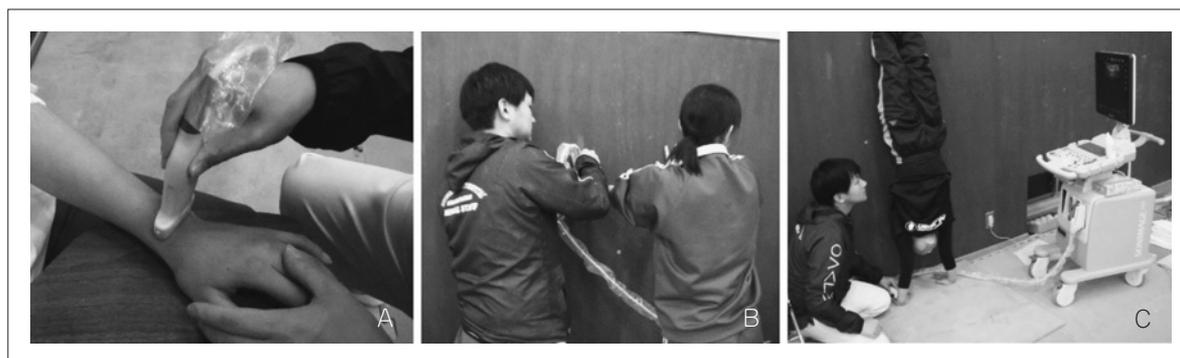


図1 測定肢位 A. 手関節中間位 B. 背屈位 C. 背屈荷重位



図2 測定部位 遠位橈尺関節背側にプローブを当てた

し、手関節痛の有病率は10歳未満、15歳以上の体操選手に比較して10-14歳の選手で高いとされている⁸⁾。各年代で手関節痛に至るメカニズムが異なることが推察されるが、小学生・中学生を含めた各年代での手関節の動態に関しては明らかとなっていない。本研究の目的は小学生・中学生・高校生女子体操選手を対象として、倒立動作時のDRUJの動態を超音波診断装置を用いて定量的に評価し、年代間で比較することである。本研究は弘前大学大学院医学研究科倫理委員会の承認を得て実施した(整理番号2017-1156)。

対象および方法

対象は女子体操選手28名56手であり、年代による内訳は小学生9名18手、中学生5名10手、高校生14名28手であった。平均年齢は全体で 13.9 ± 3.6 歳、小学生群で 9.2 ± 1.4 歳、中学生群で 13.4 ± 1.0 歳、高校生群で 16.9 ± 1.1 歳である。対象者および保護者には研究内容に関して書面にて説

明を行い同意を得た。

測定方法は超音波診断装置としてKONIKAMINOLTA社製SONIMAGE613および、3-8Mhzリニアプローブを使用した。測定肢位は3肢位とし、肘関節屈曲 90° で前腕回内位と手関節掌背屈 0° による中間位と、前腕回内位で手関節最大背屈位とした背屈位、前腕回内位にて倒立動作を実施した荷重背屈位である(図1)。測定部位はDRUJ背側部とした(図2)。

得られた画像にて橈尺骨の相対的位置関係を定量評価するため、まず基準となる点として橈骨背側結節および尺骨頭背側頂点を同定した。次いで、これらの点を通り橈尺側方向に平行な線および掌背側方向に平行な線を引き、2本の平行線の間隔をそれぞれ掌背側距離、橈尺側距離として測定した(図3)。掌背側距離については橈骨背側結節に対して、尺骨頭背側頂点が掌側にある場合を(+), 背側にある場合を(-)として表示した。更に、中間位と荷重背屈位での掌背側距離、橈尺側距離から変化量を算出し、小学生群、中学生群、高校生群での3群間にて比較を行った。統計解析はIBM SPSS statistics version 21を使用し、一元配置分散分析を施行後多重比較を行った。有意水準は5%とした。

結果

中間位、背屈位、荷重背屈位での小学生群、中学生群、高校生群の掌背側距離、橈尺側距離を表1、表2に示す。掌背側距離の変化は、中間位から荷重背屈位になることにより小学生群では尺骨が背側に 3.5 ± 3.5 mm、中学生群では背側に 0.9 ± 2.3 mm、高校生群では逆に掌側へ 0.7 ± 2.0 mm移動した。小学生群と高校生群の比較で統計学的有意差

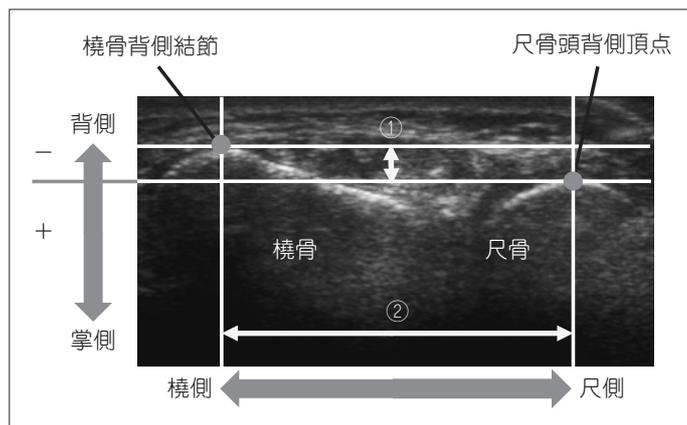


図3 掌背側距離と橈尺側距離 ①掌背側距離 ②橈尺側距離
 橈骨背側結節に対して尺骨頭背側頂点が掌側にある場合を (+), 背側にある場合を (-) とした.

表1 小学生・中学生・高校生における各肢位での掌背側距離
 橈骨背側結節に対して尺骨頭背側頂点が掌側にある場合を (+), 背側にある場合を (-) とした.

掌背側距離 (mm)	小学生	中学生	高校生
中間位	2.3	2.3	1.9
非荷重位	2.0	1.4	2.2
背屈荷重位	-1.2	1.4	2.6

表2 小学生・中学生・高校生における各肢位での橈尺側距離

橈尺側距離 (mm)	小学生	中学生	高校生
中間位	22.7	25.3	26.0
非荷重位	23.6	26.5	27.0
背屈荷重位	24.0	28.3	31.1

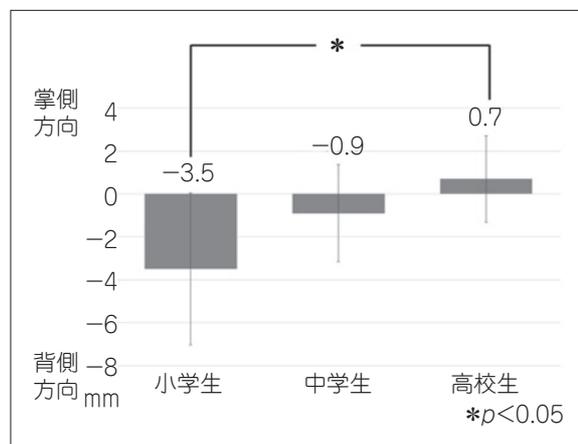


図4 小学生・中学生・高校生での掌背側距離変化量の比較
 小学生では中間位から荷重背屈位により背側に3.5mm移動した。一方高校生では中間位から背屈荷重位により掌側に0.7mm移動した。
 * $p < 0.05$

を認めた ($p < 0.05$) (図4)。

橈尺側距離はいずれの年代でも荷重背屈位で増加し、変化量は小学生群 1.3 ± 2.7 mm, 中学生群 3.1 ± 3.7 mm, 高校生群 5.0 ± 4.3 mm と高校生群が小学生群と比較し有意に大きかった ($p < 0.05$) (図5)。

■ 考 察

DRUJ は尺骨頭と尺骨切痕により構成される関節で、TFCC, 遠位橈尺靭帯, 前腕骨間膜, 尺側手根伸筋腱鞘, 方形回内筋により安定化されている。その中でも TFCC, 遠位橈尺靭帯は橈骨遠位と尺骨遠位を直接連結させる組織である⁹⁾ (図6)。

Xing らは健常成人を対象として、CT 撮影装置

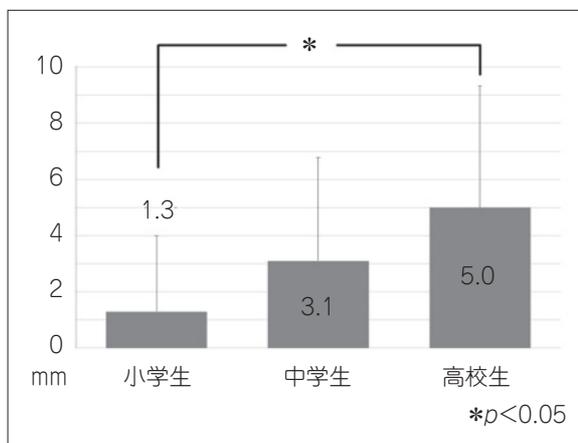


図5 小学生・中学生・高校生での橈尺側距離変化量の比較
 * $p < 0.05$

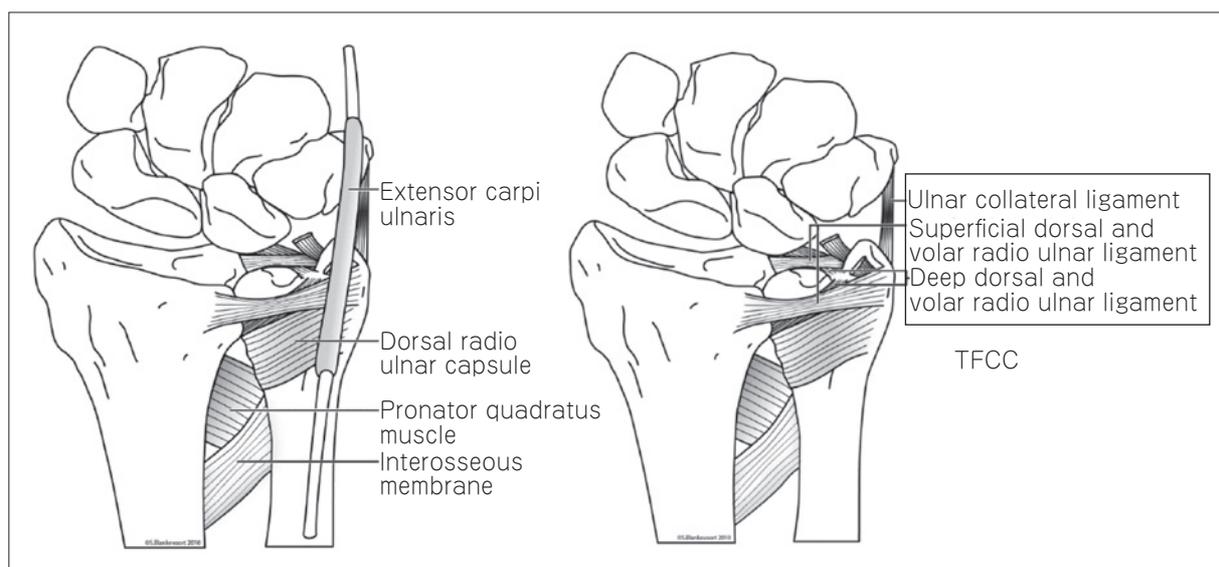


図6 DRUJ 周囲組織 (文献9より引用し一部改変)

を用いて手関節の動態測定を行った。前腕最大回内位で手関節背屈位を実施したところ、橈骨尺骨切痕に対する尺骨頭の接触中心が、掌側に4%、遠位に9%移動したと報告している¹⁰⁾。Hojoらは健康成人を対象として、CT撮影装置と荷重装置を用いて手関節の動態測定を行った。前腕回内位、手関節背屈位にて7kgの軸圧荷重をかけたところ、非荷重時に比較して尺骨遠位は尺側へ0.6mm、掌側へ0.4mm移動し、掌側橈尺靭帯が伸張されたと報告している¹¹⁾。本研究でも小学生群・中学生群・高校生群の全ての年代において、倒立動作による荷重背屈位によって橈尺側距離は中間位と比較し増加していた。またPalmarらは屍体関節を用いた実験により、DRUJが開大する方向へ44.5Nの牽引力を加え3mmの開大が生じたと報告している¹²⁾。今回、高校生群では倒立時の橈尺側距離は、中間位と比較し5.0mm増大していた。このことは荷重背屈位ではDRUJに少なくとも44.5N以上に相当する開大方向への牽引力が生じていたと考えられる。これらのことより体操競技中には繰り返される倒立動作により、TFCCや遠位橈尺靭帯には反復して牽引力が生じ、特に橈尺側距離の増加が大きい高校生においてはこれらの損傷リスクが高いと考えられた。

手関節背屈位における荷重分担は、成人では80%が橈骨へ20%が尺骨にかかるとされている¹³⁾。一方、小児期の骨端線開存例では尺骨が橈骨よりも短いマイナスバリエーションとなるため、荷重

はより橈骨へ集中すると考えられる¹⁴⁾。つまり尺骨への荷重が極端に減少する小児期ではDRUJが開大する方向への分力も小さく、逆に尺側への荷重が増加する高校生では開大方向への分力が大きくなると推察される。そのため高校生では手関節荷重背屈位でより大きな橈尺側距離の増大が生じたと考えられた。

掌背側間距離に関しては、高校生群で荷重背屈位となると尺骨が橈骨に対し掌側移動をしていた。これはHojoらの成人を対象とした研究結果を支持するものであり、荷重背屈位にて橈尺関節距離が増大することで、掌側橈尺靭帯が緊張し、尺骨が掌側へ移動しているものと考えられた。一方、小・中学生群では荷重背屈位に尺骨が背側移動していた。小・中学生群では橈尺側距離の変化が小さく、TFCCの緊張が生じにくい。TFCCは尺骨の背側移動を制動する役割を担っており、小・中学生群では尺骨の背側移動を制動できず、荷重背屈位に尺骨が背側方向への移動を生じたと考えられた。

このように、各年代において倒立動作によるDRUJの動態は異なることが示唆され、手関節障害に至るメカニズムに影響するものと推察された。今後は手関節障害の有無や倒立動作時の手関節背屈角度を調査することにより手関節障害の予防に寄与できると考えられる。

本研究の限界として、今回の計測は倒立動作のみで行われており、実施のスポーツ競技中には手

関節背屈荷重位のみならず，回旋応力も加わっているために，DRUJの動態が異なる可能性がある点が挙げられる。

結 語

小学生群では高校生群と比較して，手関節荷重背屈位によるDRUJの動態については，

①尺骨の掌背側方向への変化では，小学生群では背側方向へ，高校生群では掌側方向へと異なっていた。

②橈尺側間距離の変化量は小学生群と比較し高校生群で有意に大きかった。

以上より，手関節障害の発生メカニズムは成長に伴い変化する可能性があると考えられた。

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

- 1) Koh TJ, Grabiner MD, Weiker GG. Technique and ground reaction forces in the back handspring. *Am J Sports Med.* 1992; 20: 61-66 doi: 10.1177/036354659202000115.
- 2) 桜庭景植. 上肢スポーツ障害とリハビリテーション 若年の体操選手における上肢障害—あん馬における手関節障害を中心に. *Journal of clinical rehabilitation.* 2006; 15: 568-573.
- 3) Difiori JP, Puffer JC, Mandelbaum BR, et al. Factors associated with wrist pain young gymnast. *Am J Sports Med.* 1996; 24: 9-14 doi: 10.1177/036354659602400103.
- 4) Farana R, Exell T, Strutzenberger G, et al. Technique selection in young female gymnasts: Elbow and wrist joint loading during the cartwheel and round-off. *Eur J Spots Sci.* 2018; 18: 423-430 doi: 10.1080/17461391.2018.1424941.
- 5) 関口貴博, 土屋明弘. Gymnast's wrist における橈骨手根関節のキネマティクス. *臨床バイオメカニクス.* 2013; 34: 115-121.
- 6) 鳥居 俊. 【日常診療で役立つ小児整形外科の知識】小児科でよくみる疾患 スポーツ障害. *小児科診療.* 2015; 78: 459-463.
- 7) 西村信哉, 塚本利昭, 逸見瑠生, 他. 体操選手における倒立動作時の遠位橈尺関節距離の検討. *スポーツ傷害.* 2018; 23: 31-33.
- 8) Difiori JP, Puffer JC, Aish B, et al. Wrist pain distal radial physeal injury and ulnar variance in young gymnasts: does a relationship exist? *Am J Sports Med.* 2002; 30: 879-885 doi: 10.1177/03635465020300062001.
- 9) Wijffels M, Brink P, Schipper L. Clinical and non-clinical aspects of distal radioulnar joint instability. *Open Orthop J.* 2012; 6: 204-210 doi: 10.2174/1874325001206010204.
- 10) Xing SG, Chen YR, Xie RG, et al. In Vivo Contact Characteristics of Distal Radioulnar Joint With Malunited Distal Radius During Wrist Motion. *J Hand Surg Am.* 2015; 40: 2243-2248 doi: 10.1016/j.jhssa.2015.07.027.
- 11) Hojo J, Omokawa S, Iida A, et al. Three-Dimensional Kinematic Analysis of the Distal Radioulnar Joint in the Axial-Loaded Extended Wrist Position. *J Hand Surg Am.* 2019; 44: 336.e1-336.e6 doi: 10.1016/j.jhssa.2018.06.019.
- 12) Palmar AK, Werner FW. The triangular fibrocartilage complex of the wrist-anatomy and function. *J Hand Surg Am.* 1981; 6: 153-162 doi: 10.1016/s0363-5023(81)80170-0.
- 13) Palmar AK, Werner FW. Biomechanics of the distal radioulnar joint. *Clin Orthop Relat Res.* 1984; 187: 26-35.
- 14) Hafner R, Poznanski AK, Donovan JM. Ulnar variance in children: standard measurements for evaluation of ulnar shortening in juvenile rheumatoid arthritis, hereditary multiple exostosis and other bone or joint disorders in childhood. *Skeletal Radiol.* 1989; 18: 513-516 doi: 10.1007/BF00351750.

(受付：2021年3月11日，受理：2021年11月25日)

Evaluation of distal radioulnar joint kinematics during handstand using ultrasonography in female gymnasts

Nishimura, S.^{*1,2}, Tsuda, E.^{*2}

^{*1} Department of Rehabilitation, Hirosaki University Hospital

^{*2} Department of Rehabilitation Medicine, Hirosaki University Graduate School of Medicine

Key words: female gymnasts, DRUJ, ultrasonography

[Abstract] (Purpose) Wrist pain is more prevalent among females than males, and is often caused by loading in the dorsiflexion position. Although distal radioulnar joint (DRUJ) kinematics is still controversial, this study was intended to analyze DRUJ kinematics in female gymnasts by using ultrasonography, and to compare age-related differences.

(Materials and methods) The subjects were 28 healthy female gymnasts. Testing positions were neutral, wrist extension, and during a handstand. The DRUJ was imaged using ultrasonography. The dorsi-volar and radioulnar distances were measured in the 3 positions, and variations for neutral and handstand were compared. For statistical analysis, one-way ANOVA ($p < 0.05$) was used.

(Result) The differences in the dorsi-volar and radioulnar distances were -3.5mm and 1.3mm , respectively in elementary school students, and 0.7mm and 5.0mm , respectively, in high school students. Dorsi-volar distance decreased significantly more in high school than elementary school students, and radioulnar distance increased significantly more in high school than elementary school students ($p < 0.05$).

(Discussion) Dorsi-volar distance exceeded radioulnar distance in elementary school students, but was opposite in high school students. The mechanism of gymnastics-related wrist pain may change with physical growth.