

# どのような力学的負荷が 上腕骨長を変化させる? —非対称競技の左右の上肢長の比較—

原 著

What is a mechanical load that changes the length of the humerus?  
—Comparison of Asymmetric Competitions—

山本亮太<sup>\*1</sup>, 坂槻 航<sup>\*1</sup>, 筒井俊春<sup>\*2,3</sup>, 鳥居 俊<sup>\*2,3</sup>

キー・ワード：Mechanical stress, Asymmetric sports, Upper limb's length  
メカニカルストレス, 非対称性スポーツ, 上肢長

**〔要旨〕** 本研究の目的は大学生運動部員でテニス、野球、陸上競技投擲種目（以下、投擲）を行う男子の利き手側と非利き手側の左右差の違いを異なる運動様式の競技に対して比較することである。対象は大学運動部員男子からテニス（30名）、野球（37名）、投擲（45名）を行う選手とした。DXA法装置 whole body modeにより測定し、得られたDXA画より上腕骨長と前腕長を算出した。Symmetry Indexを用いて上腕骨長と前腕長の非利き手側に対する利き手側の長さ比を算出し、統計には一元配置分散分析を用いた。上腕骨長と前腕長の左右差では、競技間に有意差があり ( $F=19.9, p<0.001, F=5.6, p=0.005$ )、テニスは投擲、野球と比較して有意に高値であった ( $P<0.05$ )。野球と投擲には有意差はなかった ( $P>0.20$ )。テニスによる上肢への力学的負荷は骨長増加に影響を及ぼすと推察される。

## 1. 緒言

上肢長は身長増加とともに増加するが、左右で対称的な長育となることは希である<sup>1)</sup>。特に上肢長における非対称性は力学的負荷の影響を受けるとされ、健康な20歳前後の男女で左右いずれも利き手側の上肢が、平均0.2から0.3%ほど長くなることが報告されている<sup>2,3)</sup>。なかでもKrahlら<sup>4)</sup>は、テニス選手の尺骨では左右差は平均8.0%、また第二中指骨も0.18%に左右差があることをレントゲン画像による計測から報告した。これより骨長増大に与える要因が力学的負荷であると考えられるものの、どのような力学的負荷が骨長増加に影響をおよぼすかについて検討したものはない。

上肢長を決定する上腕骨と橈骨並びに尺骨で構成する前腕は長骨であり、上肢の運動様式によって力学的な支点となる部位は異なる。すなわち成長期スポーツ活動では上腕骨および前腕にある成長軟骨には、運動様式によって異なる力学的負荷が加わると推察される。また力学的負荷の性質や量によって、成長軟骨に与える影響は異なると考えられる。特に投球動作およびラケットによるストロークにおいて肩甲帯周辺の関節に必要とされる安定性がパフォーマンスに影響を与えること<sup>5)</sup>が知られており、上肢で近位部も力学的負荷は高い<sup>6)</sup>。一方、Krahlら<sup>4)</sup>の報告は上腕骨を除く部位の計測値のみを分析したものであり、テニスの影響かどうかを明らかにできたと言い切れない。

そこで、本研究では大学生運動部員からテニス、野球、陸上競技投擲種目（以下、投擲）を行う男子の上腕骨長と前腕長を算出し、利き手側と非利き手側の差の違いを異なる運動様式をもつ競技に対して比較することとする。

\*1 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

\*2 早稲田大学スポーツ科学学術院

\*3 早稲田大学発育発達研究所

Corresponding author: 鳥居 俊 (shunto@waseda.jp)

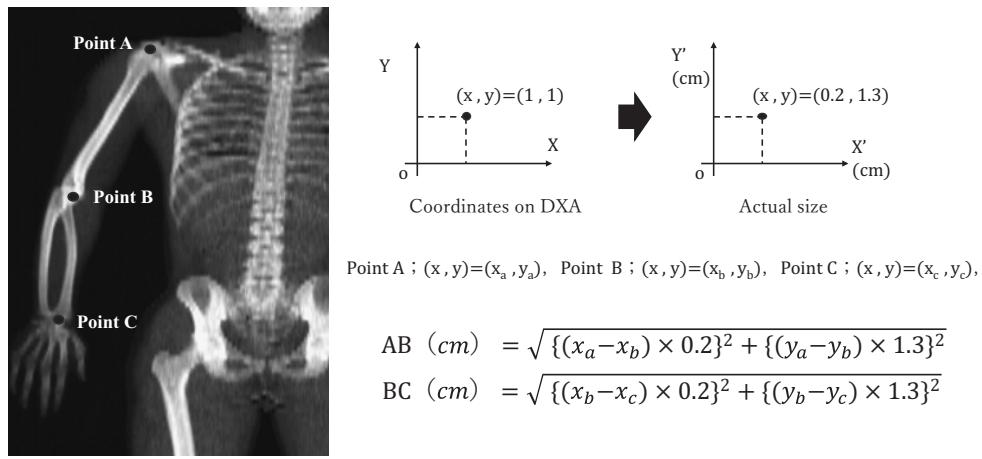


図 1 Measurement of humerus length and forearm length using DXA images.

## 2. 方法

### 1) 対象

骨格発育が概ね完了していると考えられる平均年齢20.1歳の大学運動部員男子からテニス(30名), 硬式と準硬式野球投手(37名), 投擲(45名)を行う選手を対象とした。本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認(承認番号: 2023-043)を得て実施した。

### 2) DXA測定

DXA法装置(Hologic社製 HORIZON A-QDR)を用いて whole body modeにより、鳥居<sup>7)</sup>の計測手順と同様に測定を行った。計測時の姿勢は仰臥位であり、前腕が体軸と平行になるように、肩関節をわずかに外転させ、肘関節をわずかに屈曲するようにした。指は手掌を計測台につけたまま、指を広げずに伸ばした。得られたDXA画像のsubregion機能に搭載される座標は、左右1pixelsあたり0.2cm、上下1pixelsあたり1.3cmで定義されており、これを用いて骨格長をピタゴラスの定理より算出した。本研究では上腕骨長は上腕骨頭から肘関節裂隙、前腕長は肘関節裂隙から手関節橈骨月状骨間とした(図1)。

### 3) 左右差の解析

左右差にはSymmetry Index<sup>8)</sup>を用いて、上腕骨長と前腕長の左右差として算出した。下記は、算出に使われた式である。

$$\text{左右差}(\%) = \frac{\text{利き手測定値} - \text{非利き手測定値}}{0.5 \times (\text{利き手測定値} + \text{非利き手測定値})}$$

### 4) 統計処理

本研究で得られたデータはすべて平均値±標準偏差で表し、統計処理にはSPSS Statistics27(IBM社製)を用いた。年齢と身長、体重、上腕骨長及び前腕長の左右差の競技間比較には、すべてに正規分布を確認したのち、一元配置分散分析を用いて解析を行った。主効果が認められた場合には、事後検定としてTukeyを用いた多重比較を実施した。さらに上腕骨と前腕長の利き手側と非利き手側の関係を調べるために、Pearsonの積率相関係数を用いた。なお、有意水準は危険率5%未満とした。

## 3. 結果

身長および体重では競技間に有意な差があり投擲、野球、テニスの順で高値であった( $F=15.7, p < 0.001, F=63.8, p < 0.001$ )(表1)。また非利き手および利き手側の上腕骨長と前腕長では競技間に有意な差があり投擲、野球、テニスの順で高値であった(表2)。

上腕骨長、前腕長とも、3つの競技いずれにおいても、利き腕側と非利き腕側との間に有意な正の相関が見られた(図2)。

上腕骨長の左右差(%)では、競技間に有意差があり( $F=19.9, p < 0.001$ )、テニス(平均±標準偏差:  $2.33 \pm 3.27$ )は投擲(平均±標準偏差:  $-0.04 \pm 3.25$ )、野球(平均±標準偏差:  $-0.19 \pm 2.87$ )と比較して有意に高値であった。また、前腕長の左右差においても競技間で有意差があり( $F=5.6, p = 0.005$ )、テニス(平均±標準偏差:  $1.38 \pm 3.56$ )は投擲(平均±標準偏差:  $-0.17 \pm 3.90$ )、野球(平均

表1 Information on subjects

	Tennis (n = 30)	Baseball (n = 37)	Throw (n = 45)	P-value	Post-hoc
Age	20.1 ± 1.1	20.0 ± 1.0	20.1 ± 1.1	0.86	—
Height (cm)	169.9 ± 7.6	174.1 ± 5.0	178.1 ± 5.8	<0.001	Tennis < Baseball < Throw
Weight (kg)	66.9 ± 5.4	71.8 ± 15.6	93.5 ± 14.1	<0.001	Tennis < Baseball < Throw

The value is mean ± SD.

表2 Information on subjects 2

		Tennis (n = 30)	Baseball (n = 37)	Throw (n = 45)	P-value	Post-hoc
humerus length (cm)	dominant	31.3 ± 1.7	32.9 ± 3.5	34.1 ± 1.4	<0.001	Tennis < Baseball < Throw
	nondominant	30.5 ± 1.5	32.9 ± 3.4	34.1 ± 1.4	<0.001	Tennis < Baseball < Throw
forearm length (cm)	dominant	24.2 ± 1.2	24.1 ± 1.2	25.2 ± 1.5	<0.001	Tennis, Baseball < Throw
	nondominant	23.9 ± 1.4	24.0 ± 1.1	25.1 ± 1.3	<0.001	Tennis, Baseball < Throw

The value is mean ± SD.

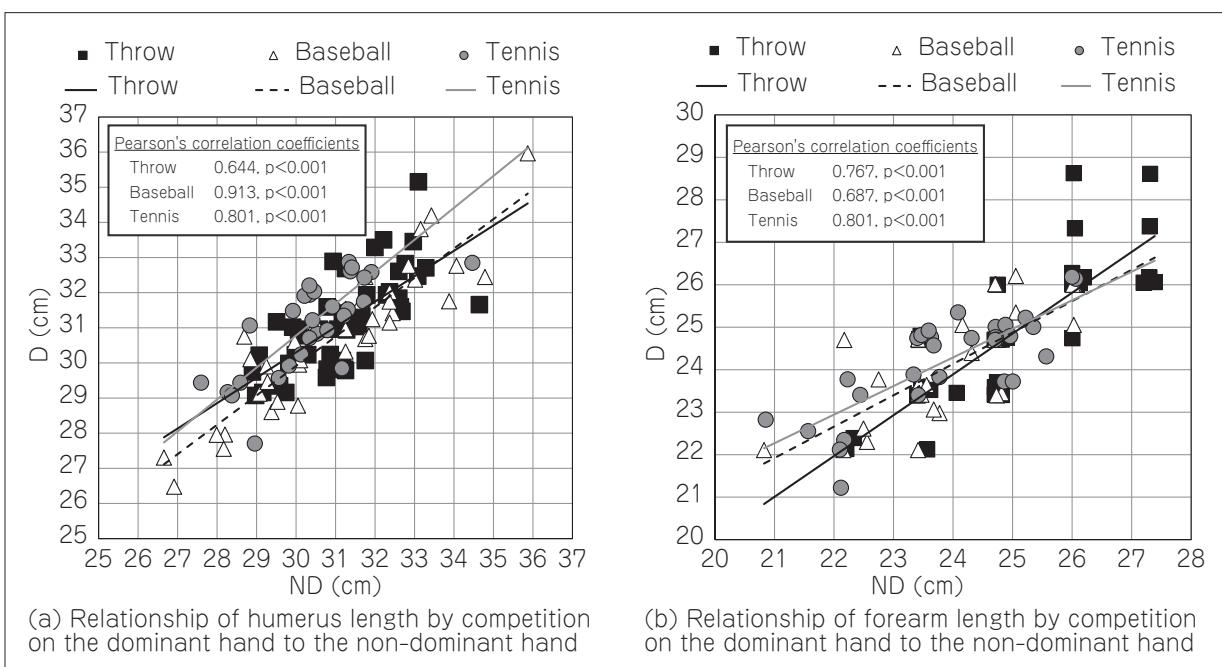


図2 Relationship between dominant and nondominant upper limb lengths shown by segment.

± 標準偏差 ; 0.17 ± 3.90) と比較して有意に高値であった (図3)。

#### 4. 考察

Krahl ら<sup>4)</sup>によってプロテニス選手の尺骨長左右差が平均 8.0% と報告がなされている。本研究で計測した部位は先行研究と異なったため前腕長左右差が平均 1.38% と低値だったものの、個体値を考慮すれば同様の結果が得られたと言える。すな

わち、国内外を通してテニス選手の前腕長の利き手側が長くなる可能性がある。さらにテニスでは非対称動作を競技特性に持つ野球並びに投擲との比較において、前腕長が有意に長いことから、テニスで前腕への力学的負荷は骨長増加を引き起こすと推察される。一方、野球の投球動作に着目すると、ボールリリースまでの前腕に及ぼされる力学的負荷はボールと手部の接地点を作作用点として前腕の急速な回内から曲げ応力が加わる<sup>9)</sup>。投球時

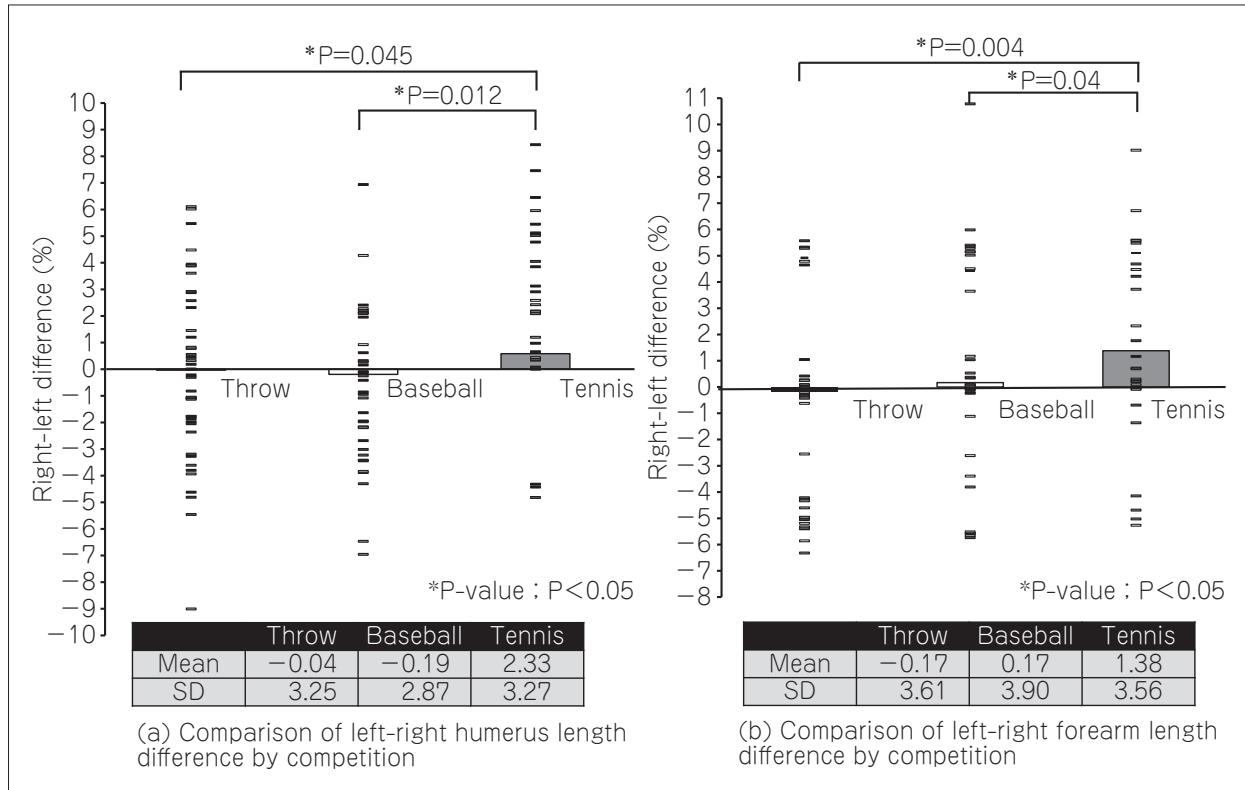


図3 Comparison of left-right differences in humerus and forearm length between non-dominant and dominant hand side by competition.

に力学的負荷がかかる支点は野球選手の外傷障害に多い肘関節内側<sup>10)</sup>となるため、前腕への負荷は上肢の中では少ない可能性がある。さらに、野球ボールの重量は0.136kg、投擲競技に使用される投擲物の重量は槍0.800kg、円盤で2.000kg、砲丸とハンマーで7.260kgであり、野球の投球動作で加わる負荷量は小さいと考えられるが、野球と投擲に有意差はなかった。これより、前腕長において曲げ応力の負荷量が多大な影響とはならない可能性がある。

テニスにおける力学的性質には、ストローク・サーブによってボールとラケットから生じる振動・衝撃力が特有である<sup>11)</sup>。また、テニスでは競技中に複雑な上肢運動が要求されるため、骨に対しては四方からの力学的負荷が加わる。一方で長骨に曲げ応力を加えた際には、骨密度が骨幹部中央付近において高値となることから、力学的負荷は限局されやすい<sup>12, 13)</sup>。したがってテニスは投擲や野球よりも前腕長増加に影響を及ぼしたと推察する。

本研究の3競技において特筆すべき力学的負荷の違いはボールを打ち返すさいに生じる振動・衝

撃力であり、最も高い振動・衝撃力をうけるのはテニスである<sup>11)</sup>。テニスにおいては前腕長同様に多方向から加わる振動・衝撃力により骨長が増加したと考えられる。一方で、野球と投擲では上腕骨長の左右差に統計学的差はないものの、非投球側と投球側の関係には、野球で強い正の相関となり投擲で中程度の正の相関となった。すなわち、左右差平均値と相関の強さを考慮して、野球選手の上腕骨は非投球側よりも投球側で短くなる傾向にあると考える。野球選手において繰り返しの上腕骨近位部に対するねじり応力による後捻角増大が報告され<sup>14)</sup>、上腕に対する力学的負荷は高いと考えられる。また成長期野球選手の上腕骨近位骨端症の症例にて、一部成長期野球選手に上腕骨近位端の内反変形によって非投球側よりも上腕が短くなることを報告した<sup>15)</sup>。また、投擲では中学から砲丸投げ種目が始まり、高校からやり投げ、円盤投げ、ハンマー投げの種目が追加されることや、各投擲物の重量は世代で異なることで、一部の対象者において発育スパート時期<sup>16)</sup>に投擲による力学的負荷が上肢に加わっていない可能性がある。さらに、野球では投球動作のcooking期にみられ

る肩関節外旋位は145°程度<sup>17)</sup>に対し、やり投げでは100°程度<sup>18)</sup>で、その他投擲種目では肩関節は比較的安定位で投擲するため、上腕骨近位に対して野球よりも力学的負荷が小さいと推察する。また山本ら<sup>19)</sup>はトップレベルの投擲選手151名の既往歴調査で肩関節既往損傷が全体の6.6%であったことを報告し、主要な損傷部位に肩関節はなっていない。したがって、投擲選手の上腕に対する力学的負荷はテニス、野球よりも小さい可能性がある。

ただし、本研究は横断での検討であり、今後は縦断研究および個体差を考慮した更なる検討が必要である。特にOgdenら<sup>20)</sup>の報告によると、上腕骨の骨端線閉鎖時期は、近位部で18-21歳、遠位部では15-18歳とされ、尺骨および橈骨の骨端線閉鎖時期は近位部で14-17歳、遠位部で17-19歳である。これらのことから、メカニカルストレスが与える骨端線閉鎖前後の骨長変化を観察することにより、いつ同変化が生じたかについて明らかとなる可能性があるが、本研究では調べることができなかった。

## 5. 結論

テニスの前腕および上腕長の左右差は、野球ならびに投擲と比較し有意に高値であり、利き手側が長い傾向であった。また野球と投擲において前腕および上腕長の左右差に統計学的差はなかった。

### 謝 辞

東海大学体育学部競技スポーツ学科 輿名本実先生には被検者選定に貢献いただきました。厚く御礼申し上げます。

### 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

著者RY, WS, TT, STは、研究デザインとプロトコルを概念化し、研究機関を決定した。著者ST, WS, RYはデータ収集と組み立てを担当した。著者RY, TT, STはデータの分析と解釈を担当した。草稿は著者RYが担当した。すべての著者は、原稿を批判的にレビューし、修正し、投稿を承知した。

### 文 献

- 1) Rauch F. Bone growth in length and width: the Yin

- and Yang of bone stability. *J Musculoskelet Neural Interact.* 2005; 5: 194.
- 2) Trinkaus E, Churchill E, Ruff B. Postcranial robusticity in Homo. II: Humeral bilateral asymmetry and bone plasticity. *American journal of physical anthropology.* 1994; 93: 1-34.
- 3) Jee S, Frost M. Skeletal adaptations during growth. *Triangle.* 1992; 31: 77-88.
- 4) Krahl H, Michaelis U, Pieper G, et al. Stimulation of bone growth through sports. A radiologic investigation of the upper extremities in professional tennis players. *Am J Sports Med.* 1994; 22: 751-757.
- 5) Tamura A. Body composition asymmetry between dominant and non-dominant arms in experienced overhead throwing sports athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 2024; 64: 1071-1078.
- 6) Martin C, Bideau B, Bideau N, et al. Energy Flow Analysis During the Tennis Serve: Comparison Between Injured and Noninjured Tennis Players. *The American Journal of Sports Medicine.* 2014; 42: 2751-2760.
- 7) 鳥居 俊. 日本人健康男児の骨量分布の発育変化. *日本小児整形外科学会雑誌.* 2010; 19: 85-89.
- 8) Wellsandt E, Failla M, Snyder-Mackler L. Limb symmetry indexes can overestimate knee function after anterior cruciate ligament injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy.* 2017; 47: 334-338.
- 9) 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之助, 他. 野球の投手の投動作の3次元動作解析. *体育学研究.* 1990; 35: 143-156.
- 10) 道信龍平, 小川 健, 山崎正志. 3. スポーツ外傷・障害: 2) 野球肘: 学童期における野球肘の最新知見. *別冊整形外科.* 2024; 43: 71-75.
- 11) 大館 淳, 岩原光男, 鈴木 芳, 他. モード解析によるテニスラケットの振動特性に関する研究. *ジョイント・シンポジウム講演論文集: スポーツ工学シンポジウム: シンポジウム, ヒューマン・ダイナミックス.* 2004; 56-59.
- 12) Robling G, Hinant M, Burr B, et al. Shorter, more frequent mechanical loading sessions enhance bone mass. *Med sci sports exerc.* 2004; 34: 196-202.
- 13) Liu Z, Gao J, Gong H. The adaptive response of rat tibia to different levels of peak strain and durations of experiment. *Medical engineering & physics.*

- 2022; 102: 103785.
- 14) 武田芳嗣, 前田 徹, 藤井幸治. 野球選手の上腕骨後捻角増大はいつ生じるか. 肩関節. 2004; 28: 325-328.
  - 15) 兼松義二. 少年野球における上腕骨近位骨端線障害. 日本整形外科スポーツ医学会誌. 1988; 8: 163-166.
  - 16) 鳥居 俊, 岩沼聰一朗, 飯塚哲司. 日本人健康男子中学生における身長, 除脂肪量, 骨量の最大増加時期. 発育発達研究. 2016; 70: 11-16.
  - 17) 宮下浩二, 小林寛和, 越田専太郎, 他. 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. 2009; 58: 379-386.
  - 18) 田内健二, 藤田善也, 遠藤俊典. 男子やり投げにおける投てき動作の評価基準. バイオメカニクス研究. 2012; 16: 2-11.
  - 19) 山本亮太, 筒井俊春, 鳥居 俊. 大学・実業団投擲選手の損傷既往部位は腰部が多い. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2023; 31: 490-497.
  - 20) Ogden A. Skeletal injury in the child. Springer Science & Business Media; 2006.

(受付: 2025年1月15日, 受理: 2025年4月24日)

## What is a mechanical load that changes the length of the humerus? —Comparison of Asymmetric Competitions—

Yamamoto, R.<sup>\*1</sup>, Sakamaki, W.<sup>\*1</sup>, Tsutsui, T.<sup>\*23</sup>, Torii, S.<sup>\*23</sup>

\*<sup>1</sup> Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

\*<sup>2</sup> Faculty of Sport Sciences, Waseda University

\*<sup>3</sup> Waseda Institute of Human Growth and Development

**Key words:** Mechanical stress, Asymmetric sports, Upper limb's length

**[Abstract]** The purpose of this study was to compare the differences of the dominant and non-dominant humerus length and forearm length in collegiate tennis, baseball, and throwing events in track and field athlete. The subjects were male university athletes who played tennis ( $n=30$ ), Baseball ( $n=37$ ), and throw ( $n=45$ ), and were measured using a DXA in whole body mode. The symmetry index was used to calculate the dominant-nondominant difference (%) between the humerus length and forearm length, and a one-way ANOVA was used for statistics. There was a significant difference in dominant-nondominant difference in humerus and forearm length ( $F=19.9$ ,  $p<0.001$ ;  $F=5.6$ ,  $p=0.005$ ), and tennis was significantly higher than throw and Baseball ( $p<0.05$ ). Mechanical loading of the upper limb by tennis may influence the increase in bone length.