

投てき競技に於ける傷害について —ハンマー投げに於ける鎖骨部に関する研究—

西藤 宏司, 宮下 憲, 森本 光彦
土肥 徳秀, 原田 繁*, 田淵 健一**

Biomechanical Analysis of the Stress Fracture of the Clavicle in Hammer Throw

Hiroshi Saito, Ken Miyashita
Mitsuhiko Morimoto, Tokuhide Doi
Shigeru Harada and Kenichi Tabuchi

Abstract

Stress fracture of clavicle is one of the characteristic disturbances in hammer throw. To investigate an etiology of this stress fracture, throwing motion was analyzed by biplane high-speed photography and electromyograms. On releasing a hammer, the left shoulder abducted and rotated externally from an adducted position and high EMG activity of sternocleidomastoideus muscle was observed. The boundary element method revealed that stress concentration at the site of stress fracture.

I 緒言

運動障害は、すべてのスポーツ種目にみられ、その発生部位については多岐にわたっている。そして、その中にはその運動種目に特有の障害もみることができる。

そこで、この実態について調査するために筑波大学保健管理センターの過去9年間のスポーツ外傷のデータベースを調べてみた。¹⁾ このことから、特に陸上競技についてみると投てき競技に比較的障害が多いことがわかっ

た。また、今回この投てき競技について種目別に詳しく実態調査を行ってみると、やり投に特有のやり肘の障害や一般的な腰痛・膝部の障害等これまで報告されてきたものに加えて、新たにハンマー投に特有と思われる鎖骨部の痛み、胸鎖関節部の痛みという障害が認められた。²⁾ また、これらの障害は、競技人口が、他の種目に比べて少ないにもかかわらず高い発症率を示すことも認められた。

*筑波大学臨床医学系

**関東中央病院

表1 被験者の体格・最高記録および経験年数

氏名	身長	体重	胸囲	最高記録	経験年数
H. I	1 8 0 (cm)	8 7 (kg)	1 0 2 (cm)	5 9.16(m)	6 (year)

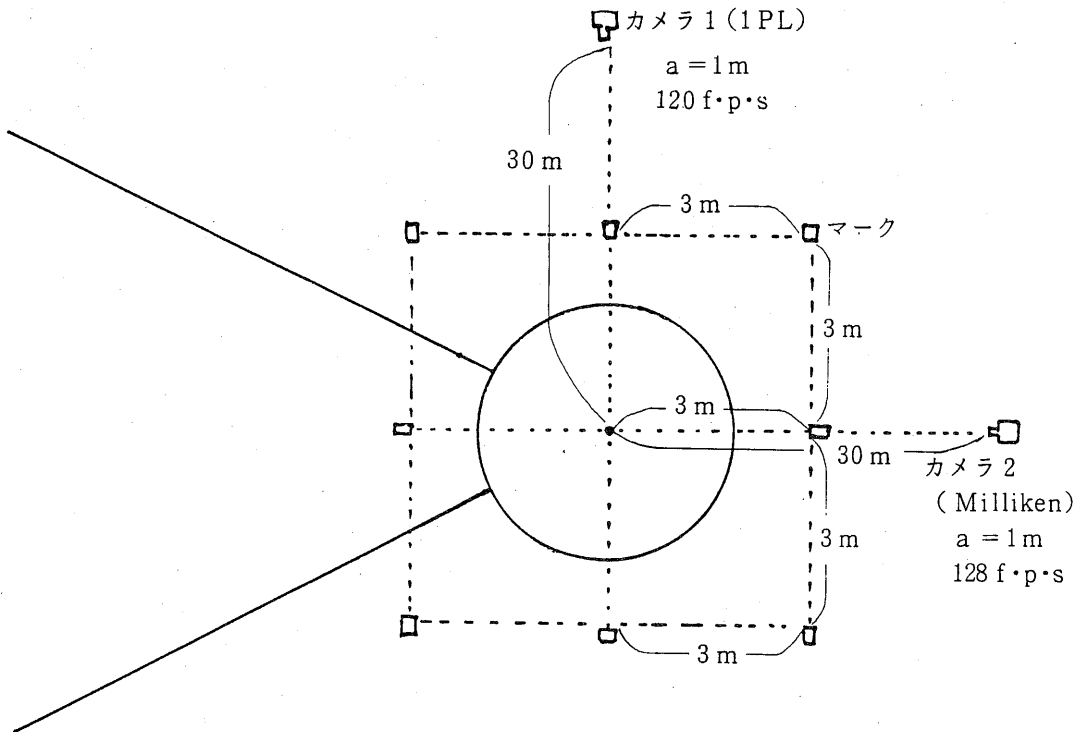


図1 撮影時施設条件

本研究では、この障害を起こした者をして、ハンマー投での鎖骨にかかる負担を数学モデルによって想定し、また、スティックピクチャーや筋電図を用いて検討を加えた。さらに、ハンマー投における鎖骨部の障害の発生の機序をさぐってみようとした。

II 方法

被験者は、表1に示す筑波大学陸上競技部に在籍するハンマー投を専門とする者で鎖骨部に障害を起したものである。

まず、事前に被験者に対して調査を行ないどのような投げの局面で痛みが生じるかなどについて質問した。これに加えて医師の診断も参考にした。

また、被験者の動作分析と発生のメカニズムをさぐるために16ミリ高速度撮影で得たデータをもとにマトリックス法により鎖骨にかかる負荷値を計算した。そして、数値解析の一手法である境界要素法を用いて、鎖骨にかかる負荷値をもとに鎖骨に生じる応力を計算した。

さらに、投てき時に関与する筋を知るために実際の投てき動作を行なわせ、その時の筋電図を採取した。

その方法の詳細は、次の通りである。

イ) 16ミリ高速度カメラは、図1のようにサークルの中心から後方30m、側方30mに設置し、身体各部に測定上の計測点となるポイントをつけスウィング開始よりリリース直後まで撮影した。

これより得たフィルムをモーションアナライザーを用いて分析し、身体各部位を座標点上にとった。これから得た座標値を用いて、パーソナルコンピュータで連続投てき動作のスティックピクチャーを得た。スティックピクチャーは、特に最後の回転から振り切りの局面までを側方と後方ならびに上方から見た形で描いた。作図には、X-Yプロッターを用いた。

ロ) 筋電図

筋電図は、スウィングの開始から投てきの終了までの局面を撮った。このとき電極は、表面電極を用いて左右の胸鎖乳突筋・左大胸筋の鎖骨部・左三角筋の前部に接着した。なお、筋電図は、投てき動作中のものをとるためにテレメーターリングによる方法を用いた。

ハ) マトリックス法

マトリックス法からは、回転時に肩鎖関節にかかる負荷を推定した。この方法は、広い意味では計算の主な部分をマトリックス演算の形で定式化した算法をさすが、今回、その中でも特に構造工学の方面で用いられている変位法と呼ばれている種類の方法を採用した。

ここでは、高速度撮影から得たデータをもとにパーソナルコンピュータによって算出された力学的変量の一つであ

る法線方向の力を入力値とし、同時に肩と腕のなす角も入力値とした。

パーソナルコンピュータのプログラムは、戸川の「有限要素法入門」に記載されたものによった。³⁾

ニ) 境界要素法

これを用て、鎖骨にどの程度の応力が生じるかを計算した。数値解析の方法としては、従来、有限要素法が広く用いられているが、形状データを作成することがかなり煩雑で実用的な解析を行なうには、大型計算機を必要とする。これに対し境界要素法は、パーソナルコンピュータを用いても精度の高い結果が得られるということで、近年構造解析のみならず様々な分野に応用されるようになって来ている。

解析の手順については、まず、形状データは、上からみた鎖骨をトレースしたものからデジタイザーで座標を読みとった。

また、鎖骨にかかる外力は、肩鎖関節部、胸鎖関節部にかかるものを入力した。外力は、水平方向で鎖骨の長軸に沿って加え、大きさはマトリックス法から得た負荷値を用いた。なお、ここで胸鎖乳突筋による力を選択したのは、疲労骨折の部位が、この鎖骨での付着部の近傍であることと筋電図の結果による。

なお、パーソナルコンピュータのプログラムは、戸川の「境界要素法入門」によった。⁴⁾

Ⅲ 結果

被験者への調査による痛みは、最後の回転からリリース直後にかけて生じることがわかった。また、医師の診断では、これらの障害は、疲労骨折であるとしていた。

16ミリ高速度撮影のフィルムより最後の回転から振り切りまでのスティックピクチャーを得、同時にこれより力学的変量である速度・加速度・法線方向の力・接線方向の力・肩と腕のなす角などパーソナルコンピューターによって得た。

図2は、スティックピクチャーで側方からみたものである。これをみると最後から3～4コマ目に姿勢的に不安定なものとなっていることがわかった。特に、頸部に特徴的な動きがみられた。また、このことについては、図3の後方のスティックピクチャーからもみることができた。このことから頸部の運動が鎖骨に対して何らかの影響を与えて

いることが予測される。

図4は、接線方向と法線方向の力を同じグラフ上に描いたもので、どの回転でも両足が接地している時に大きな値を示しているが、特にリリースの直前に接線方向・法線方向に最大の値を示していることがわかる。

図5は、両肩を結ぶ線と左腕のなす角の変化を時間の経過に沿って表わしたグラフである。ここで注目される点は、リリース直後に急激に左腕がひかれており、最大では160度以上になっていることである。

そこで、まず、鎖骨にかかる力をマトリックス法を用いて計算した。その結果、左肩には最大値で60Kg重/m²の負荷がかかることが

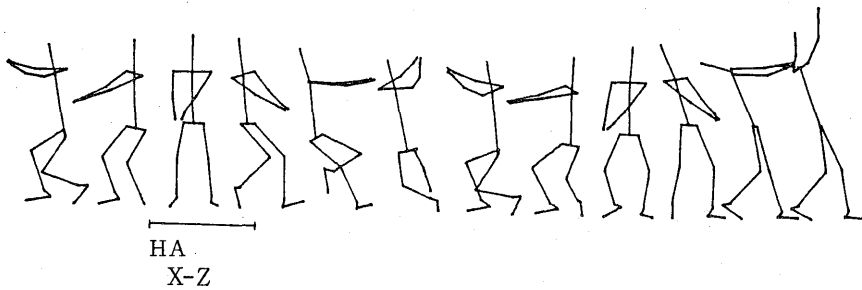


図2 スティックピクチャー

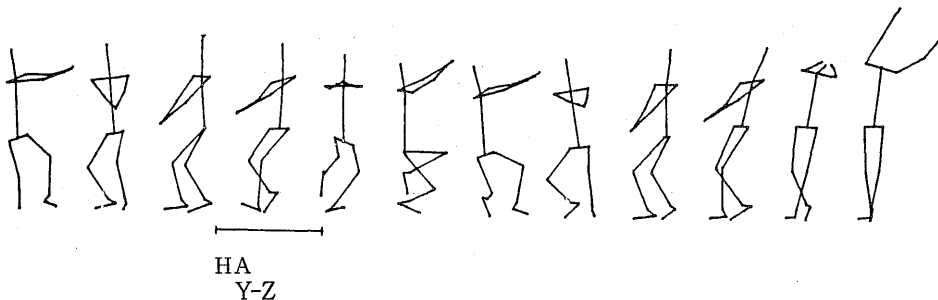


図3 スティックピクチャー (後方)

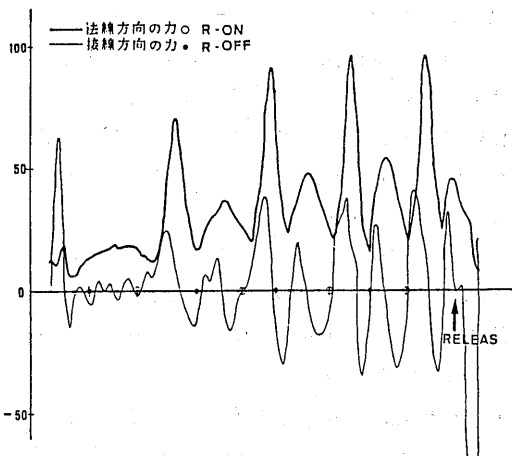


図4 接線方向と法線方向の力

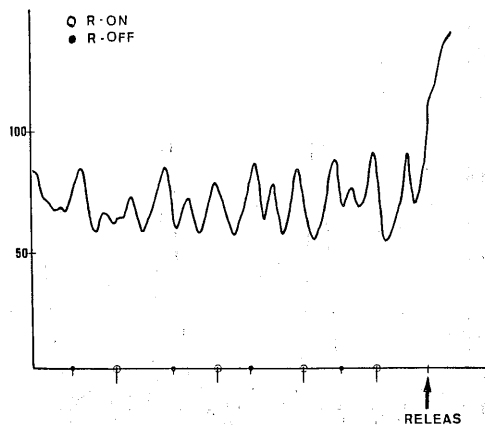


図5 肩と腕のなす角



図6 鎖骨に加える力

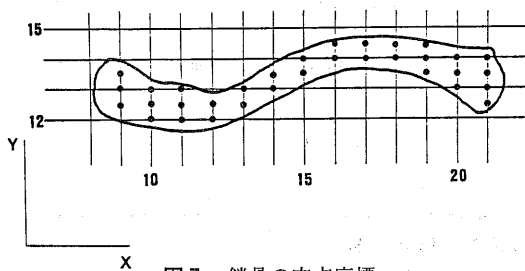


図7 鎖骨の内点座標

わかった。

次に、境界要素法を用いて鎖骨に生じる応力を計算した。このとき、データとしてヤング率 16000N/m^2 とポアソン比 0.27 を入力し、加えてマトリックス法で得た値 60Kg重/m^2 を入力した。力のかかる方向は、図6の通り長軸に沿って水平方向である。そして、応力を求める鎖骨内座標を図7のようにとってパーソナルコンピューターで算出した。

この結果、X軸方向、Y軸方向の応力および、^{せん断}剪断応力成分が得られ、図8には、剪断応力を示した。このとき剪断力は、右上と左下方向のものが正となる。

図9は、疲労骨折をきたした被験者がハンマー投の一連の動作を行っているときの筋電図をテレメーターリングによって撮ったもの

で、見やすくするために左右の胸鎖乳突筋のゲインを少し大きくした。

ここでは、胸鎖乳突筋は、回転毎に作用しており、スウィングでの2回、ターンで8回の計10回、明らかな筋活動を示している。

また、リリース直後も僅かな時間ではあるが三角筋・左右胸鎖乳突筋が比較的強く作用していることがわかる。

IV 考察

スポーツによる疲労骨折については、下肢および足部の疲労骨折が中長距離や跳躍選手に多くみられる。上肢帯の疲労骨折の報告は少なく、特に、鎖骨については、特殊な手術のあとにおこった疲労骨折以外に報告されたものが見当たらない。ところが、筑波大学陸上

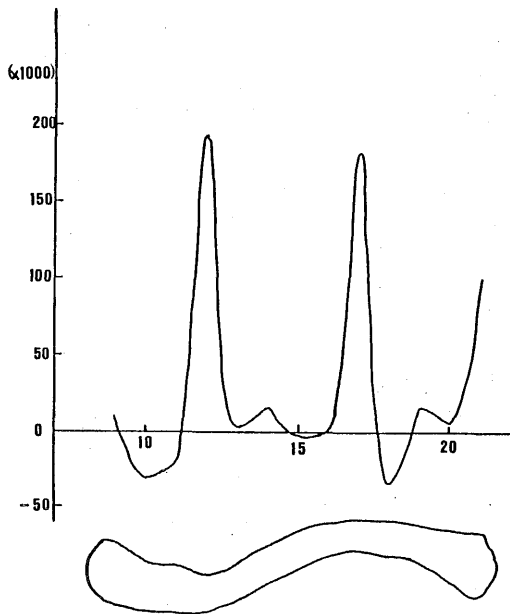


図8 鎖骨に生じる剪断応力

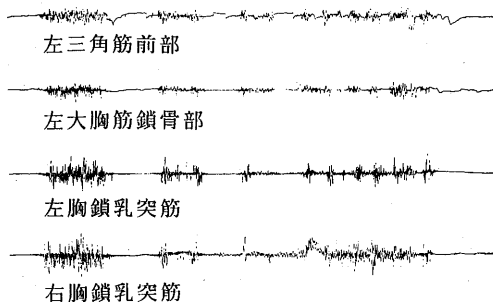


図9 筋電図

競技部のハンマー投選手のうちある者には、疲労骨折が発生しており、しかも他大学に於ける間接的な情報を通じて、鎖骨の痛みや胸鎖関節の亜脱臼感を訴える選手が、少なからずみられるということであった。

一般に、投てき技術は、(右投の場合)一連の動作の中で投てき物を右手で保持した状態から右手で用いて投げるが、ハンマー投では、投てき物を両手で把持の状態から左手を

用いて投げるといった点での他の投てき種目と異なっている。⁶⁾ このためハンマー投においては、左肩関節がリリース時に内転位から急激に外転・外旋を強いられている。これは、体幹の前額面と左上肢のなす角のリリース前後での大きな変化や、そのフェイズでの筋電図の所見からもわかった。

また、リリース時に於いて、一般に、投てき動作に起ると言われている頸反射様⁵⁾の頸部の動きも胸鎖乳突筋を介して鎖骨にストレスを加えていることがスティックピクチャーや筋電図からもわかった。また、応力を境界要素法で調べると鎖骨の疲労性骨折部も一致した。

さらに、鍛練期には、一日に平均約50-60投を投げるための、これが鎖骨に負担をかけて疲労骨折をおこすことも考えられる。したがって、少なくとも鎖骨への負担を減らすためにリリース後に左肩の急激な外転・外旋を防止するようなフォームの矯正をする必要があると考えられる。

なお、今回、胸鎖乳突筋の荷重は、入力できなかったが、それでもよく疲労骨折部位と合致していたので、これを加えると更に明瞭に出ると考えられる。また、わが国のオリンピック選手を含む一流選手の中にも、今までに胸鎖関節部に亜脱臼感を訴える者があったが、その原因は不明のままであった。このことから、今後のハンマー投選手の障害防止の一助となるためにも今後さらに研究をしていく必要があると思う。

[本論文の要旨は、第4回日本スポーツ教育学会に発表した。]

謝辞

本研究に協力いただきました運動力学研究室の斉藤慎一・横井孝先生、生理学研究室の衣笠隆先生に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 田中義樹「陸上競技における四肢・脊椎の傷害に関する実態について」日本体育学会第35回大会号, P. 596, 1984
- 2) 小林靖志「投てき競技者に於けるスポーツ障害に関する実態について」体力科学, 33 (6), P. 549, 1984
- 3) 戸川集人「有限要素法入門」P. 59-60 サイエンス社 1975
- 4) 戸川集人・下関正義「境界要素法入門」P. 213-219 サイエンス社 1983
- 5) 西藤宏司「実験投擲学」P. 30-50 逍遙書院 1975
- 6) 西藤宏司「陸上競技入門シリーズ8」 P. 112-119 ベースボールマガジン社 1977