



やり投げにおける投げ動作改善のための指針--やり に加わる加速度からみた指導のポイント--

前田, 正登

(Citation)

トレーニング科学, 18(4):307-312

(Issue Date)

2006-12

(Resource Type)

journal article

(Version)

Accepted Manuscript

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001645>



やり投げにおける投げ動作改善のための指針

ーヤリに加わる加速度からみた指導のポイントー

前田正登 (神戸大学)

I. はじめに

やり投げ競技はヤリを媒体とした競技である。投てきの際、ヤリは競技者によって力を加えられることで加速され、投げ出される。したがって、競技者がヤリにどれぐらいの力(加速度)を、またどのように加えているかについて測定することは、やり投げの競技成績向上を目指して最適な投げ方を検討する上で、極めて重要かつ有効なことである。

従来までのやり投げに関する力学的研究は、ヤリのリリースパラメータと投げ動作に関するキネマティックな研究^{2, 4, 12}が大勢を占めている。これらの研究で用いている方法は、やり投げの動作や投げ動作中のヤリを高速でVTRで撮影し、それらの映像から身体各部やヤリの位置座標を得るものであり、速度や加速度の値を得るには初期に得られる各測定点の位置変化を時間微分する必要がある。やり投げにおける投げの主動作はおよそ0.4秒と極めて短く、この間において、ヤリの加速方法を議論の対象にすると、従来までの方法では計測されるときに誤差が時間微分によって増幅されてしまうことになり、微細な加速度変化を検討するには妥当な研究方法とは言えない。

一方、競技成績向上のために、ヤリの投射初速度や投射角などのリリースパラメータを直接測定する試みもなされている^{3, 11}。しかし、これらの装置によりリリースパラメータを瞬時に測定でき、結果を即座に選手に示すことができたとしても、これらの変量が投げの過程を経てヤリに力を加えた結果として生じたものであるため、個々の競技者の投げ方に関してフィードバックできるものではない。

これらの反省から、新たに競技成績向上に資したヤリに加わる力(加速度)の測定方法を提案した^{7, 9}。新たな測定方法は、①ヤリに加えられる加速度を内部に挿入したセンサで直接測定することができる、②測定された加速度は無線で記録器に送信され収録される、という2つ

の特徴を有する。①については、このような加速度の測定には、従来、ヤリの挙動を映像に記録し、その映像からヤリの位置を座標値化して、さらに時間微分していくことで加速度を求めていた。本システムではそのような煩雑さは解消でき、直接測定された加速度なのでヤリを加速することに関して詳細な検討ができるという利点がある。また、二次的な計算を特に必要としないことは、測定結果を即時に選手に見せることができるという利点もある。②については、無線とすることで、被験者を拘束することなく普段のままの自然な動作ができるという利点がある。このように、本システムは単に研究のための測定だけでなく、選手に結果を還元できる機器としても有用なものとなっている。

本報では、著者らが開発したヤリに加わる加速度測定システム^{7, 9}を紹介するとともに、これまでに本システムを用いて様々な競技レベルの選手を対象に収集してきた測定結果から、やり投げの投げ動作を改善する際に必要より有効な投げの技術についての指針を示すものである。

II. ヤリに加わる加速度の測定

A. やり投げ用加速度測定システムの開発

小型の加速度変換器、計測アンプ、無線モジュールなどを用いて、ヤリの長軸方向に加わる加速度を測定するシステムを開発した。(Fig.1)

加速度変換器などからなる計測装置は、ヤリの内部に取り付け、出力される信号は無線送信モジュールにより送信され、外部の受信モジュールにより受信される。

加速度変換器は、ヤリの短軸方向におけるたわみ振動の影響^{5, 6, 8}を防ぐため、ヤリの1次振動モードの節の位置に取り付けられている。本装置はヤリの特性に大きく変動がないように小型軽量に設計されているが、ヤリ全体としても最終的な重量(802.0g)、重心位置(先端から1056mmの位置)などの調整を行った。

B. 手続き

計測装置を組み込んだヤリをやり投げ競技者に投げさせ、助走開始からヤリのリリースに至るまでの、ヤリに加わる加速度を測定した (Fig.2)。また、その時のヤリの投てき距離も測定した。測定と同時に、投げ動作を高速度カメラ (FASTCAM : フォトロン社) を用いて 250frames/s の撮影速度で収録した。

測定システムから出力された信号は、高速度カメラからのパルス信号とともにローパスフィルタ等を一切介さずに、A/D 変換器を経てコンピュータに取り込んだ。なお、この時の A/D 変換器のサンプリング周波数は 1kHz とした。

III. 投げ動作でヤリを加速する方法についての議論

やり投げの投げ動作中にヤリに加える力 (加速度) について、コーチなどの指導者は、「投げ動作に入ってから徐々にヤリを加速していき、離す直前でヤリに加える力を最大にする」ように選手を指導し、加速度の最高値をより増大させることが飛距離増大につながることを助言する。このようなヤリの加速イメージは先行研究^{14,10)}と一致した考えであるが、実際はどうであろうか。

Fig.3 は開発したシステムを用いて測定した結果から、ヤリに加わる運動量を算出し、投てき距離との関係を示したものであり、Fig.4 は投げ動作中にヤリに加わった仕事量と投てき距離との関係を示したものである。

Fig.3 のように、ヤリに加わる運動量と投てき距離は、 $r=0.847(p<0.01)$ の高い正の相関関係を示し、ヤリに大きな運動量を加えることは、投てき距離の増大に直結することがわかる。また Fig.4 のように、ヤリに加わった仕事量と投てき距離の関係も、 $r=0.851(p<0.01)$ の高い正の相関関係を示し、仕事量の増加も投てき距離の増大に繋がることがわかる。

一方、最高加速度と投てき距離との関係を求めたところ (Fig.5)、 $r=0.747(p<0.01)$ の高い正の相関関係を示しており、全体としては最高加速度の増大が投てき距離の増大に繋がると考えられるものの、図に挿入しているように 2 つの集団で分けてみると、各集団の中では最高加速度の増加が必ずしも投てき距離の増大に繋がらないことがわかる。

Fig.3 で示されたように、ヤリに加えられた運動量の増加は投てき距離の増大に繋がるものであった。最高加速度の増加は運動量の増加にも繋がることは必然であるにも関わらず、Fig.5 のそれぞれの集団内において最高加速度の増加が投てき距離の増大に必ずしも繋がらないのは、最高加速度の出現時以外の時点で運動量を獲得しているからであると推察される。

ヤリに加わった運動量と仕事量を最高加速度で除した変量 (Work/Peak acceleration : W/PAcc. と記す) との関係を示す。ヤリに加わった力はヤリの質量と加速度の積であり、仕事量はヤリに加わった力とヤリを移動させた距離 (ストローク) の積である。したがって、W/PAcc. は、最高加速度が出現した時刻付近以外の時により大きな加速度が加わると大きな値となる指標である。Fig.6 の 2 つの集団は Fig.5 の 2 つの集団に対応する。全体としては、 $r=0.476(p<0.05)$ の低い相関関係であるが、競技レベルの高い集団では $r=0.793(p<0.01)$ の高い相関関係となる。つまり、2 つの集団はヤリの加速方法がそれぞれ異なる集団であり、集団内では最高加速度の大きさよりも、むしろ加速度が最高値に達するまでにより大きな加速度を得ることが投てき距離の増大に繋がるものと考えられる。

IV. 投げ動作改善のための選手へのアドバイス

競技レベルの異なる 4 名の選手における測定例から投てき距離増大のための方策を考えてみる。Fig.7a に各選手におけるヤリのリリースの時点としてリリース時までの距離に対する加速度変化を、Fig.7b にヤリのリリースの時点としてリリース時までの時間に対する加速度変化をそれぞれ示す。Fig.7a の選手 N.Y についてみると、最高加速度より前 (Wb) と後 (Wa) にある斜線部分は、いずれもその区間内になされた仕事量に相当し、 $Wb=Wa$ となっている。それらが Fig.7b のように横軸を時間にして表すと、Wb と Wa はそれぞれ Mb, Ma となる。ここで、Fig.7b の Mb, Ma は、いずれもこれらの時間内になされた運動量に相当し、 $Mb>Ma$ となることがわかる。すなわち、最高値より前と後の局面で同じ仕事量をなしていても、それらに要する時間は最高値以前の局面の方が長くなり、仕事率が小さくなることになる。選手がより一層の投てき距離増大を目指すとき、仕事率

の高い局面でさらなる向上を図るよりも、仕事率の低いこの局面での仕事率を上げることが、有効な一方策となり得るものと考えられる。

このような投げ方に改善することは、結果として投げ動作に要する時間を減少させることに繋がり、リリースに向かって加える力（加速度）を次第に大きくするタイプから、最高加速度を投げの前半の局面へ移行させ最高加速度を維持させる最高値付近均等型へ移行することになるであろう（Fig.8 の model1）。また従来のように、ストローク全般にわたってほぼ均一に加える加速度（力）を増大させるように改善することも投てき距離増大に繋がることには違いない（Fig.8 の model2）。この場合、実際のトレーニングでは筋力を増加させて競技成績の向上を図ることに相当するであろう。

同一選手による測定結果を Fig.9a と Fig.9b に示す。それぞれの図では、2 投分の測定結果を重ね書きしている。図の上部の写真は、高速度カメラで収録した映像をそれぞれの時点で示したものである。Fig.9a と Fig.9b の試技は、同じ選手でありながら投てき距離は6m 以上の差があるが、ヤリに加わる加速度の最高値はどちらも35G を少し超えた程度で、際立つ差異ではない。両者の大きな差は0.1s から0.05s 付近までの加速度の大きさである。わずか0.05 秒間ではあるが、この間ずっとヤリに加わる加速度が小さいことは、その分の運動量を得ることができないことになり、ヤリの初速度が減少し、結果として投てき距離を減少させてしまうことになる。各図の写真からわかるように、この間は左足着地後の投げ動作前半に相当する局面であるので、直接的な原因は左足の着き方及び左足着地後の体幹部の使い方の拙さにあるものと推察される。

V. おわりに - 本測定システムおよび本評価法の有用性 -

本報では、ヤリに加わる加速度測定システムを紹介し、ヤリに加わる加速度の考察から、投げ動作改善のための指針を提案した。これらの研究はその主旨から、研究成果を公表しなければならない対象は、選手やコーチを含めた指導の「現場」である。学術的に価値が認められたすばらしい研究であっても、「現場」で使えない、あるいは否定される理論では意味がないと考える。選手やコーチたちと直に話し合い、やり投げにおける理論を説いて

いく必要がある。

また、本報で紹介した測定システムを「現場」で使えるよう普及させることも考えていく必要がある。本システムは、まだ機器そのものが煩雑でありそのまま提供できる状況にない。しかし、測定結果を即時フィードバックできるという特徴は、トレーニング機器としても極めて有効であると考えられ、使用方法を習得すれば競技成績の向上に大いに活用できるものである。

本報で紹介したデータも含めて、今後も更にデータを収集していき事例を増やす必要がある。できれば、競技者やコーチたちがそれらのデータを閲覧できる場が提供できればと構想している。そうすれば、競技者自身あるいは指導者がこれらのデータを参照しながら、他の同レベルの競技者とどこが違うのか、どのようにすれば競技成績を向上させることができるかなどについて議論することができ、やり投げの競技成績向上に貢献できるものと考えている。

文献

- 1) Arbeit, E., Bartonietz, K., Börner, P., Hellmann and K., Skibbia, W. : The view of the DVfL of the GDR on talent selection, technique and main training contents of the training phases from beginner to top-level athlete. *New studies in ATHLETICS*: 57-74, 1988.
- 2) Bartlett, R., Müller, E., Lindinger, S., Brunner, F. and Morriss, C. : Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *Journal Applied Biomechanics* 12: 58-71, 1996.
- 3) Hubbard, M. and Alaways, L.W. : Implementation of a javelin trajectory instrumentation system. : *Biomechanics XI-B*, pp.972-977, 1988.
- 4) Komi, P.V. and Mero, A. : Biomechanical analysis of olympic javelin throwers. *Int. J. Sport Biomechanics* 1:139-150, 1985.
- 5) 前田正登・野村治夫・森脇俊道・社本英二: 競技用ヤリの動特性. *Japanese Journal of Sports Sciences* 12(2) : 130-136, 1993.
- 6) 前田正登・野村治夫・社本英二・森脇俊道: ヤリの弾性

- を考慮に入れたやり投げの力学的解析. 体育学研究 42(4) : 270-282, 1997.
- 7) 前田正登・社本英二: やり投げにおけるヤリに加わる加速度からみた投げの技術評価. 第 14 回日本バイオメカニクス学会大会論集, 身体運動のバイオメカニクス : 294-298, 1999.
- 8) Maeda, M., Shamoto, E., Moriwaki T. and Nomura H. : Measurement of applied force and deflection in javelin throw. *Journal of Applied Biomechanics* 15: 429-442, 1999.
- 9) Maeda, M. and Shamoto, E. : Measurement of acceleration applied to javelin during throwing. *The Engineering of Sport* 4: 553-559, 2002.
- 10) 村上雅俊・伊藤章: やり投げパフォーマンスと動作の関係. *バイオメカニクス研究* 7(2) : 92-100, 2003.
- 11) Viitasalo, J.T. and Korjus, T. : On-line measurement of kinematic characteristics for the javelin. : *Biomechanics XI-B*, pp.582-587, 1988.
- 12) Whiting, W.C., Gregor, R.J. and Halushka, M. : Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing. *Int. J. Sport Biomechanics* 7: 111-124, 1991.

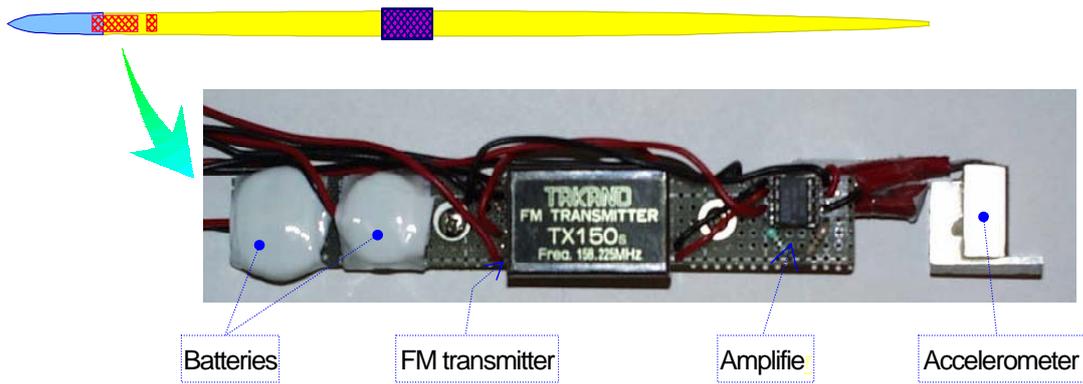


Fig.1 やり投げ用加速度測定システム

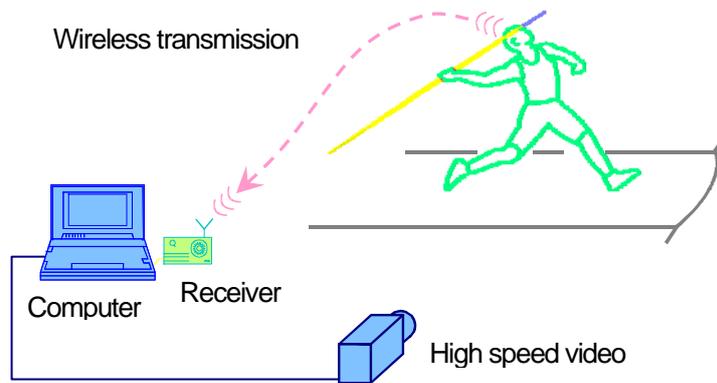


Fig.2 実験構成

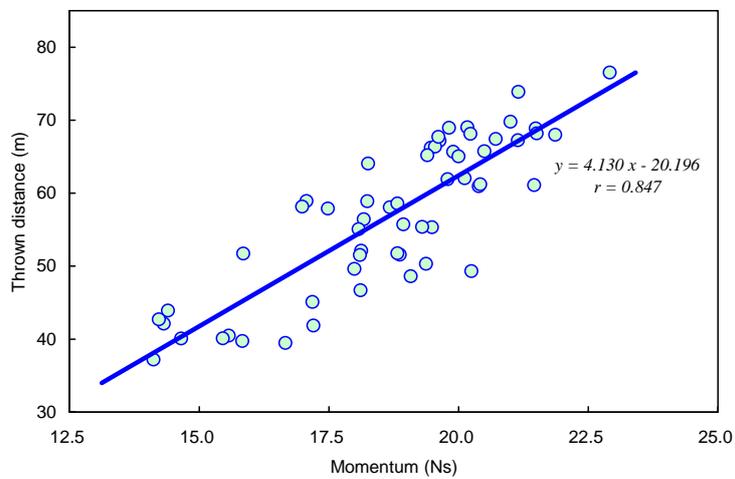


Fig.3 ヤリに加わる運動量と投てき距離の関係

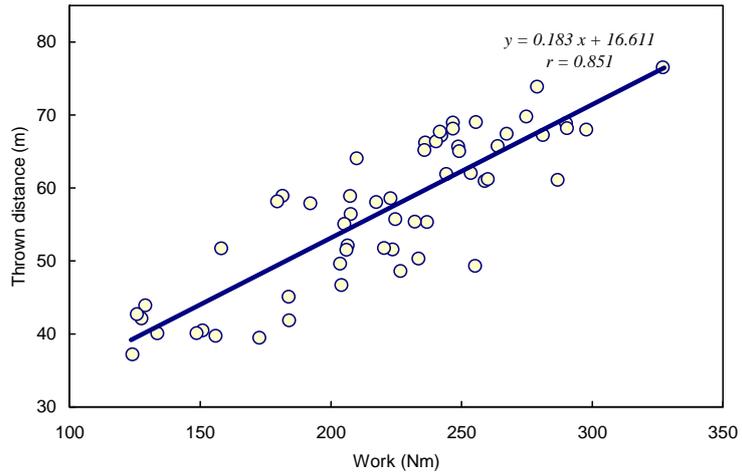


Fig.4 ヤリに加わる仕事量と投てき距離の関係

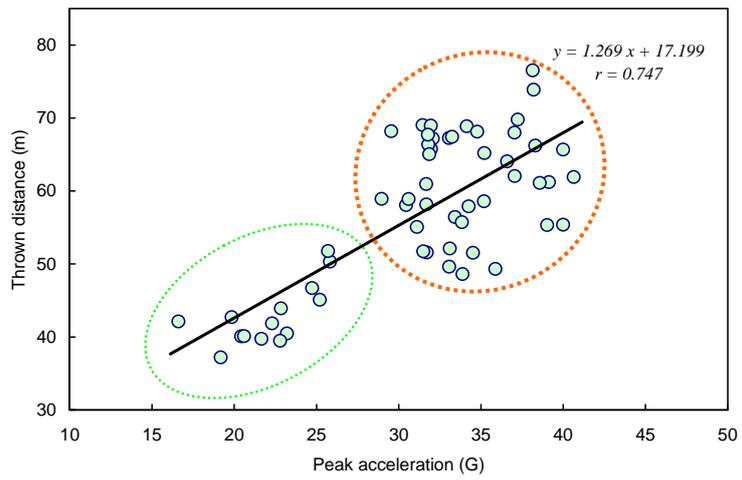


Fig.5 最高加速度と投てき距離の関係

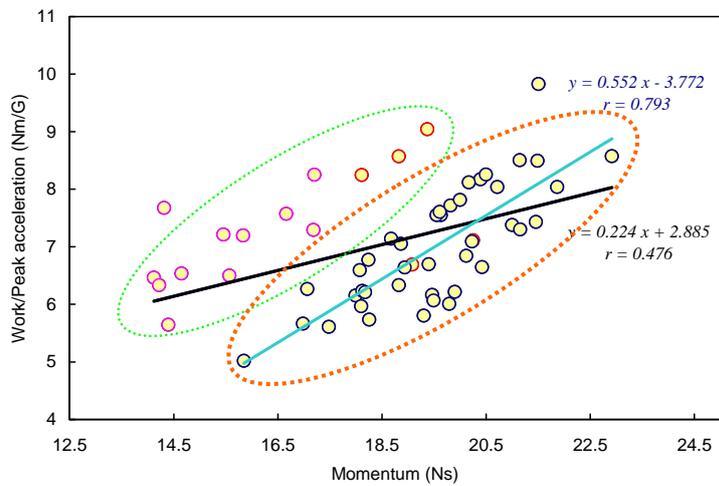


Fig.6 ヤリに加わった運動量と仕事量を最高加速度で除した変量 (W/PAcc.) の関係

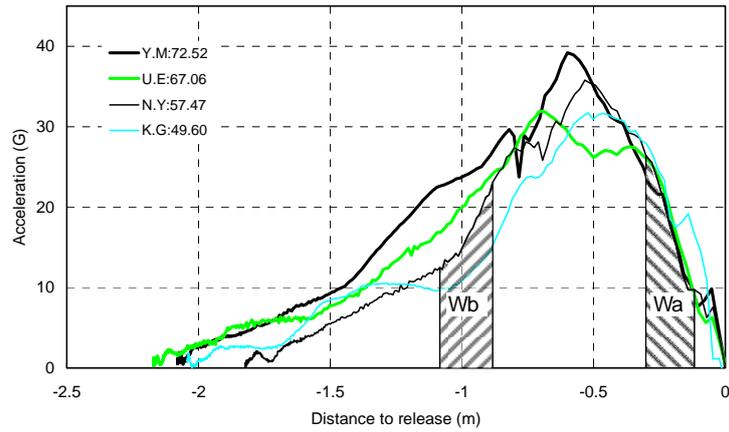


Fig.7a 投げ動作中におけるリリース時までの距離に対する加速度の変化

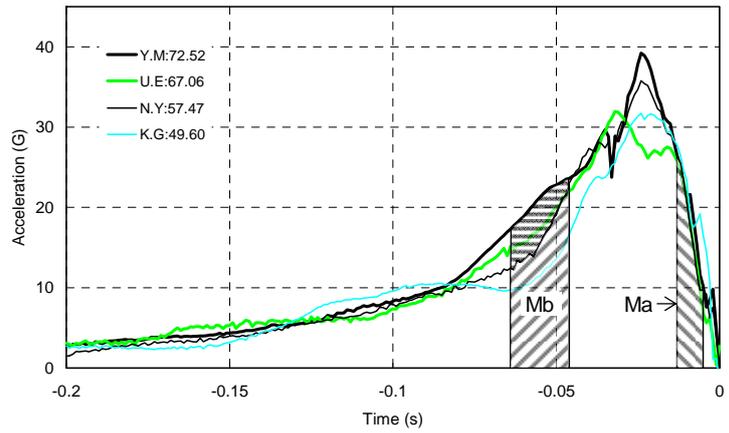


Fig.7b 投げ動作中におけるリリース時までの時間に対する加速度の変化

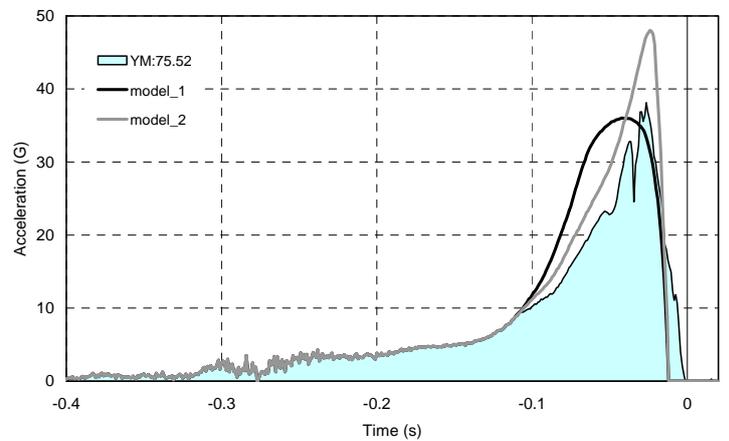


Fig.8 投げ動作中におけるヤリに加わる加速度のモデル

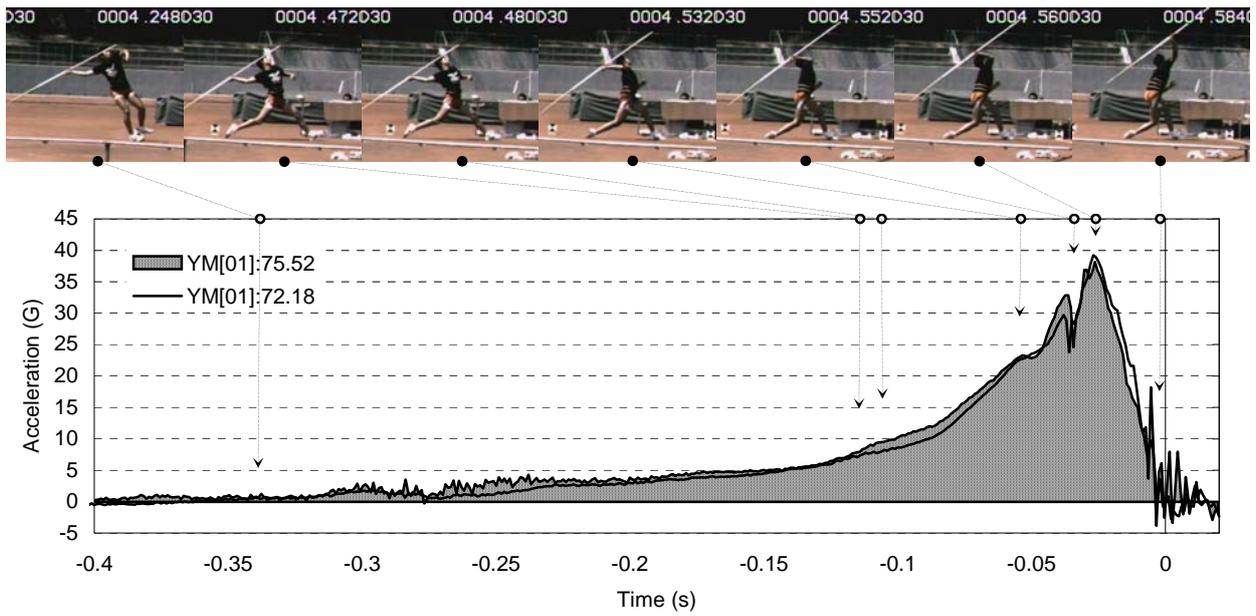


Fig.9a 投げ動作中にヤリに加わる加速度 (Subj. YM, 2001年測定)

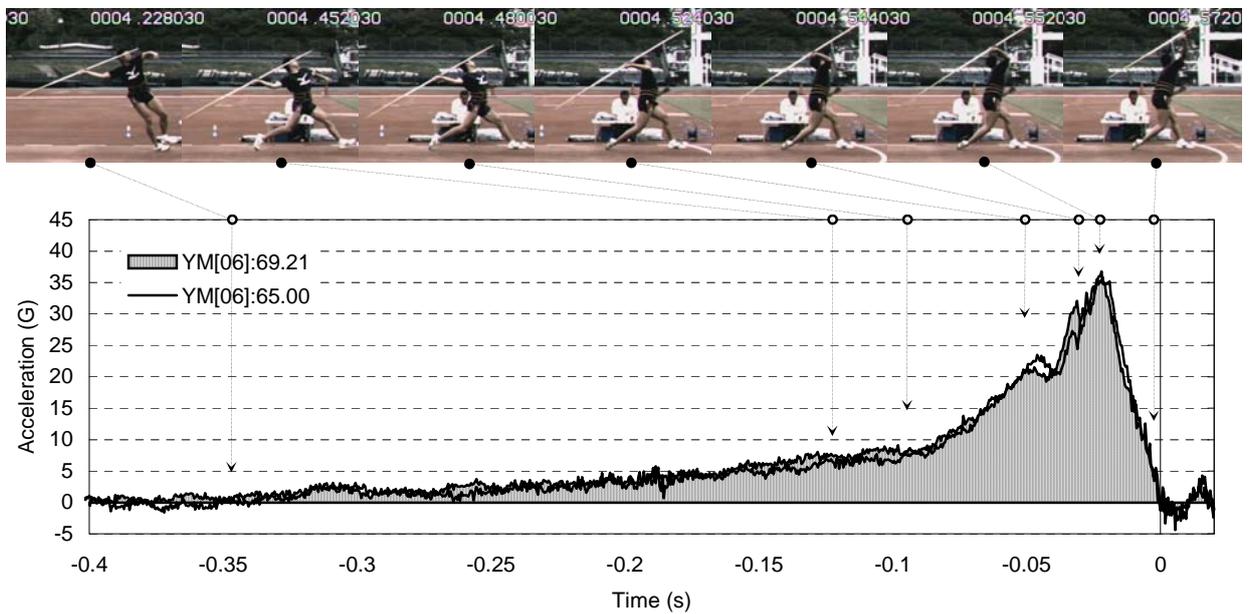


Fig.9b 投げ動作中にヤリに加わる加速度 (Subj. YM, 2006年測定)