

できたことを話した。またイギリス人選手は彼自身の技術にこのロシア人選手の特徴を組み込むために、非常に練習したことも述べた。そのロシア人選手はこの話を大変楽しい気分でも聞いた。彼が言うには、イギリス人選手が考えたこの特徴は、自分の技術の中でも大きな欠点の1つであり、最近になって克服することに成功したと如才なく説明したのである。

上述のことに加え、「チャンピオンをまねる」練習方法には、これ以外にも大きな弱点がいくつかある。チャンピオンの交代はたびたび起こり、そして、あるチャンピオンが用いた技術は、次のチャンピオンの技術とは実質的に異なることがしばしばある。1人のチャンピオンが用いた技術は、そのチャンピオンと同じ身体的属性を伴った選手には最適（少なくとも最適に近い）であろうが、資質に恵まれない選手や、熟練度の低い選手にとっては最適からかけ離れているであろう。そのチャンピオンによって用いられた技術の導入は、従って総合的に不適切かもしれない。

与えられた状況でどの技術を用いるべきかを確立した場合でも、教師とコーチは競技選手のパフォーマンスの欠点を見抜き、修正するという課題に直面する。その中で、最も難しいのは観察した欠点の原因の所在を明らかにすることである。経験を積んだ目であれば、競技選手の技術の大きな欠点を見つけることは難しくはないが（とくにその技術がよく知られていて普及しているとき）、その欠点の原因がどこにあるかを探し出すことは非常に難しいであろう。その理由の1つとして、原因はその影響からかけ離れていることがある（たとえば、跳躍、宙返り、飛び込みにおける空中や着地で観察された影響は、ほとんどいつも踏み切りや踏み切り前の助走の技術に欠点がある）。多くの教師とコーチは観察された影響を修正しようとするが、それを生み出す根底の原因についてはほとんど、あるいは全く考えない。一般に、このような試みはあまり効き目がない。教師やコーチの指導によって、欠点が解決される代わりに問題が加えられ、競技選手のパフォーマンスを低下させてしまいがちである。

これらすべてから2つの明らかで重要な問題が出てくる。チャンピオンをまねる方法に弱点があるなら、最良の技術を選択するよりよい方法はあるのだろうか？

教師とコーチは、観察した欠点の原因を探し出す能力をどうすれば改善できるのだろうか。

これらの問題に答えるのがバイオメカニクスという科学である。ある場面で使用されるであろう多様な技術を評価し、観察された結果と根底にある原因とを結びつけるための、論理的基盤となる科学である。

運動学習についての知識を身につけることで、教師とコーチは練習の指示、長さ、頻度、性質などを正しく判断できるようになる。生理学の知識を身につければ、ある場面で処方するトレーニングの種類と量について、正しい判断ができる。最後に、バイオメカニクスの知識を身につけると、適切な技術を選択し、選手らが技術を使用するうえで出てくる欠点の原因の核心を探ることがができる。要するに、運動学習はスキルの獲得の基礎となる科学であり、生理学はトレーニングの基礎となる科学であり、バイオメカニクスは技術の基礎となる科学である。

（注：このような科学が教師とコーチが直面するすべての問題に答えを用意してくれているわけではないことを、ここで理解しておいたほうがよい。しかし

ながら、すぐに答えが用意されなくても、教師とコーチが答えを最終的に得るための手段を示すことはできる)

多くの人たちのスポーツ技術に対する興味はさまざまであるが、3つのグループ——体育教師、コーチ、競技選手——で立場ははっきり異なる。これらの3つのグループはそれぞれ異なる方法でスポーツの技術を見るので、バイオメカニクスの知識の重要性を順番に分けて検討していく。

体育教師に向けて

体育（もしくは男女共学での体育）の目標は多様に記述されている。

体育は、かなり激しい身体活動の結果もしくは継続によってもたらされる器官、神経筋、知的、社会的、文化的、情緒的、芸術的な側面における望ましい適応と学習の過程であると定義されている(5)。

体育は、…身体活動を媒介として身体のパフォーマンスを改善する目標を持っている(6)。

男女共学での体育は、あらゆる形式での身体活動を通じて、学習者の個人的次元の要求（身体的、知的、社会的、情緒的、精神的）が明らかに満たされることを意図している(7)。

一見するとこのような定義は数限りなくあるが、少なくとも1つは共通点を持っている。それは体育の目標が、身体活動を媒介としていると認められていることである。したがって、体育教師が達成する成功は、この特定の媒介の知識（関係ある技術、指導法、トレーニング法、そしてその基礎となっている科学）によることが明らかである。したがって、あてずっぽうで重大な判断を下すことによってその効果が限られてしまうことに満足しない体育教師にとって、バイオメカニクス（と運動学習、生理学）の知識が必要不可欠であることは強調できるだろう。

コーチに向けて

コーチにとってのバイオメカニクスの知識の重要性は、関わるスポーツによってある程度影響を受ける。心臓血管系および筋の持久力を主として、技術の程度は非常に限られていると考えられるクロスカントリーのコーチは、技術がより大きな役割を果たす種目である野球、アメリカンフットボール、体操競技、水泳よりも、バイオメカニクスの知識から得られる利益は、明らかに小さいであろう。

他の要因は、指導している選手個人のレベルである。体育教師は一般に、初心者やそれに近い人を指導するため、スポーツ技術の幅広い基礎と幅広いバイオメカニクスの原理に関わっている。一方、コーチはより上級レベルの選手を指導するため、幅広い基礎だけでなく、より詳細な部分にも関わっている。パフォーマンスのレベルが高まれば、バイオメカニクスの知識を通してのコーチの必要性はより高まる。技術が大きな役割を果たす最高レベルのスポーツにおいては、細かい点まで注意することによって改善されることが多く、コーチが偶然やあてずっぽうに頼ってそういった細かい点をそのままにすることはあり

バイオメカニクスの知識はいかに重要か？

得ない。このようなコーチにとって、バイオメカニクスの知識は必須とされる。

現時点で、バイオメカニクスの知識らしいものは何も、もしくはほとんどないように見えるコーチが、高い成功を収めている例を引き合いに出す人がいるかもしれない。そういった彼らの成功は、それ以外のことも重要であると単に強調しているにすぎない。しかしながら、これらのコーチの資質にバイオメカニクスの知識が加われば、指導する競技選手のパフォーマンスがどのレベルまで伸びるかという点については考える価値がある。

競技選手に向けて

体育教師とコーチにとってのバイオメカニクスの知識の重要性は、一般に認められているが、競技選手にとっての重要性については認められていない。

身体的スキルの学習におけるバイオメカニクスの知識の有用性を評価するための研究は数多く行われてきた。しかしながら、こうした研究の被験者はほぼすべてが初心者なので、熟練した競技選手にとってのバイオメカニクスの知識の有用性については明らかにはなっていない。運動学習についての有識者のこの問題に対する意見をいくつか紹介する。

学習者が進歩し、もしくは年齢を重ねて経験を増すにつれ、言語による指導と運動の解析によって、スキルの重要性を増す手助けとなり、またスキルに対する新たな見方を与えられる可能性がある (8)。

実験的文献では、上級学生への力学的解析の有用性を扱っていないが、経験上、スキルのレベルが高くなると、有用性が高まるのではないかとみられる (9)。

要するに、結論的な科学的根拠は示されていないが、バイオメカニクスの原理を知ることが、熟練した競技選手のパフォーマンスの向上につながるのではないかと考えることができる。

■ 練習問題

1. 競技選手によって生まれたスポーツの技術を3つあげよ (ヒント:このような技術は「発明」した選手の名前がつけられているものがよくある)。もしくは、スポーツのルールの変更によって生まれたスポーツ技術を1つあげよ。もしくは、スポーツの施設と用具の開発によって生まれたスポーツ技術を1つあげよ。
2. 以下の分野についての学術雑誌を1誌ずつあげよ。
 - a) 運動学習、b) 運動生理学、c) スポーツバイオメカニクス。
 参考文献を引用する標準的な方法を用い、以下の各話題について過去12カ月間に出版された論文を1つあげよ。
 - a) 運動スキルの学習に関するさまざまな指導法の効果、b) 身体の構造と機能の両方、またはいずれか一方に対するトレーニングの効果、c) 運動スキルのパフォーマンスにおいて得られた結果に対するさまざまな技術の効果。

1. *Webster's Third New International Dictionary of the English Language* (1976). Springfield, Mass.: G & C. Merriam Co.
2. *Dorland's Illustrated Medical Dictionary* (1981). Philadelphia: W. B. Saunders Co.
3. Hatze, H. (1974). The meaning of the term "Biomechanics". *Journal of Biomechanics*, 7; 189-190.
4. Malmberg, E. (1978). Science innovation and gymnastics in the USSR. *International Gymnast*, 20: 63.
5. Baley, J. A., and Field, D. A. (1976). *Physical Education and the Physical Educator* (p.31). Boston: Allyn & Bacon.
6. Bucher, C. A. (1979). *Foundations of Physical Education* (p.16). St. Louis: C. V. Mosby Co.
7. Melograno, V. (1979). *Designing Curriculum and Learning: A Physical Coeducation Approach* (p.58). Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Co.
8. Knapp, B. (1966). *Skill in Sports: The Attainment of Proficiency* (p. 28). London: Routledge & Kegan Paul.
9. Lawther, J. D. (1968). *The Learning of Physical Skills* (p.101). Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall.

■ 参考文献

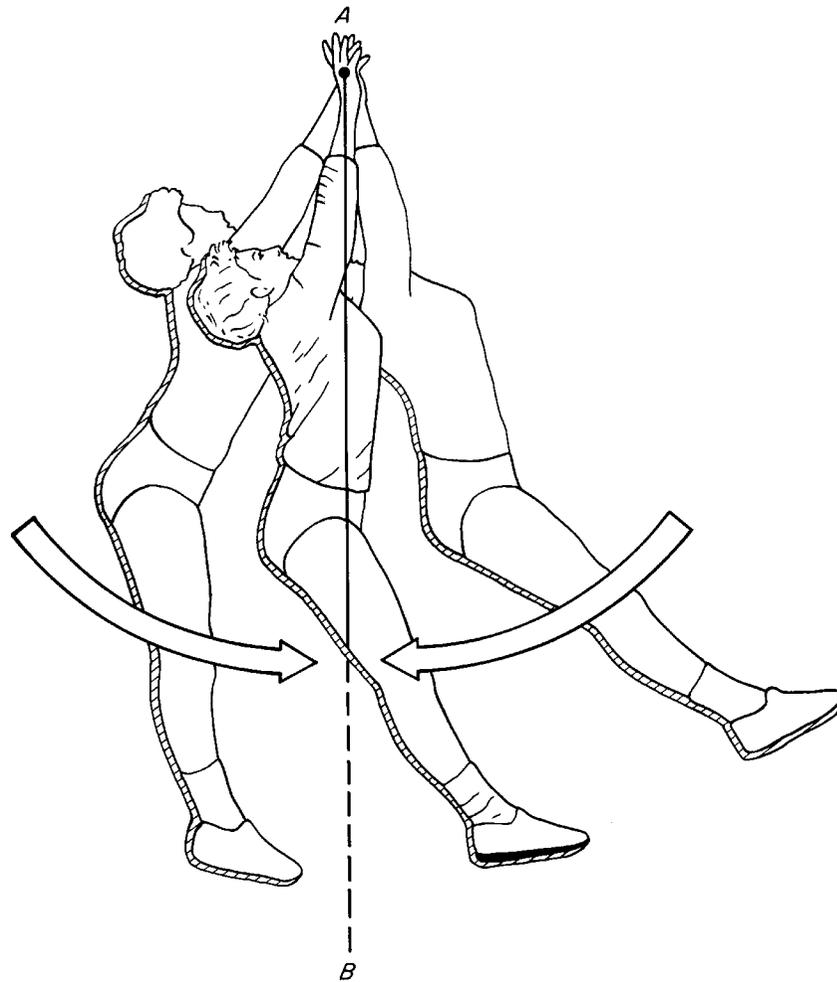


図 6-15 重心の決定 (吊り下げ法)

を通るように2つ目の鉛直線を引く。2つの引いた線が交差する点が切り抜きの重心である（切り抜きは薄いため平面のみを考えればよく、奥行きについては無視できると仮定する）。

重心に関する2つの重要な事実は、これらの方法によって説明できる。1つ目は、重心がその物体の占める空間の範囲内にある必要はないことである。図6-16（吊り輪、バスケットボール、アメリカンフットボールのヘルメット、ブーメラン）のそれぞれの物体が、その系としてバランスがとれている、もしくは吊り下げられていて、重心位置を決めるならば、すべての場合においてこの点が物体の物質内ではなく、その中や周辺の空間のどこかにあることがわかるであろう。時には、重心は物体のバランス点と呼ばれることがあり、これは物体のバランスがとれる点、あるいは支えられる点であるという意味合いであったり、そのように言われることもある。しかしながら、重心が物体の外部に（つまり、物質的制限を越えて）存在し得るという事実は、重心で支持して吊り輪のバランスをとろうとする試みによって示されるように、この解釈を全く

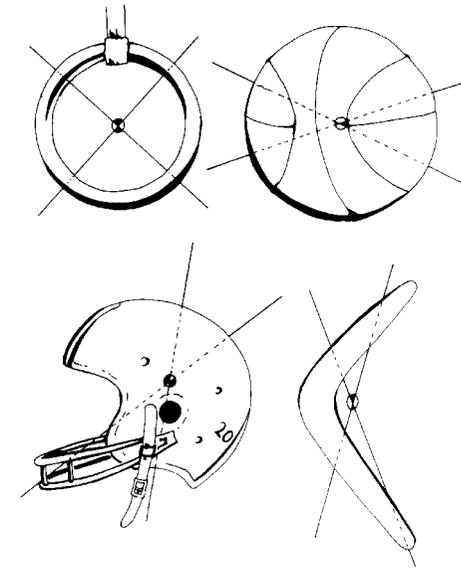


図 6-16 物体の重心はその物体の物質的実体内にある必要はない

無意味なものにする。

重心が物体の外部にある可能性によって、走高跳と棒高跳への関心が引き起こされた。そしてこれらの種目では、競技選手がブーメランの形状と同じような姿勢をとるなら、重心がバーの下を通ったり、もしくはバーを貫通したとしても（図6-17、図6-18）、競技選手はおそらくバーを飛び越えることができるだろうと論争されてきた。しかしながら、今日までこれによって競技選手が成功したという十分に裏づけのある主張はほとんどないようだ。

ブーメランは通常、一枚の木材、もしくは積層材でできており、切る、もしくは曲げることでV字型になっている。重心に関する2つ目の重要な事実を説明するために、「アーム」間の角度を調節できる特別なブーメランを想像しよ



図 6-17 走高跳の背面跳びの技術は、競技選手の重心がバーを貫通、もしくはバーの下を通っても競技選手がバーを飛び越えるのを可能にする

すでに約70~80°の角度であったクラブシャフトと左腕の間の角度は徐々に大きくなっていく。この地点から前方へは、手はきわめて一定のスピードで円弧に沿って移動し続け、その間、左腕とクラブシャフトの間の角度は真っ直ぐになりながら、クラブヘッドのスピードは急激に増加する。

これらの関係は図11-6に要約されている。この図において、 ϕ は両肩-両腕-両手のレバーと、そのレバーの回転軸を通る下方鉛直線との角度、 θ はこのレバーとクラブシャフトの間の角度、 S はクラブヘッドのスピードである。(注：この図は、インパクト直前に「手首コック」のトルクを作用させた1人のプロゴルフ選手のデータに基づいており [19]、したがって、衝突におけるクラブヘッドのスピードがわずかに減少している)

ダウンスイングの第2段階で起きることを理解するために、ゴルファーの手がクラブグリップに作用する力を検討する必要がある(図11-7)。これらの合力は、2つの成分に分解できるであろう。

1. 両肩-両腕-両手のレバーが回転する軸に向かって作用する求心成分(求心力)。この成分は、クラブのハンドグリップの運動を円弧にさせる役割を果たす。なぜならその成分の作用線がクラブの重心を通っていないからで

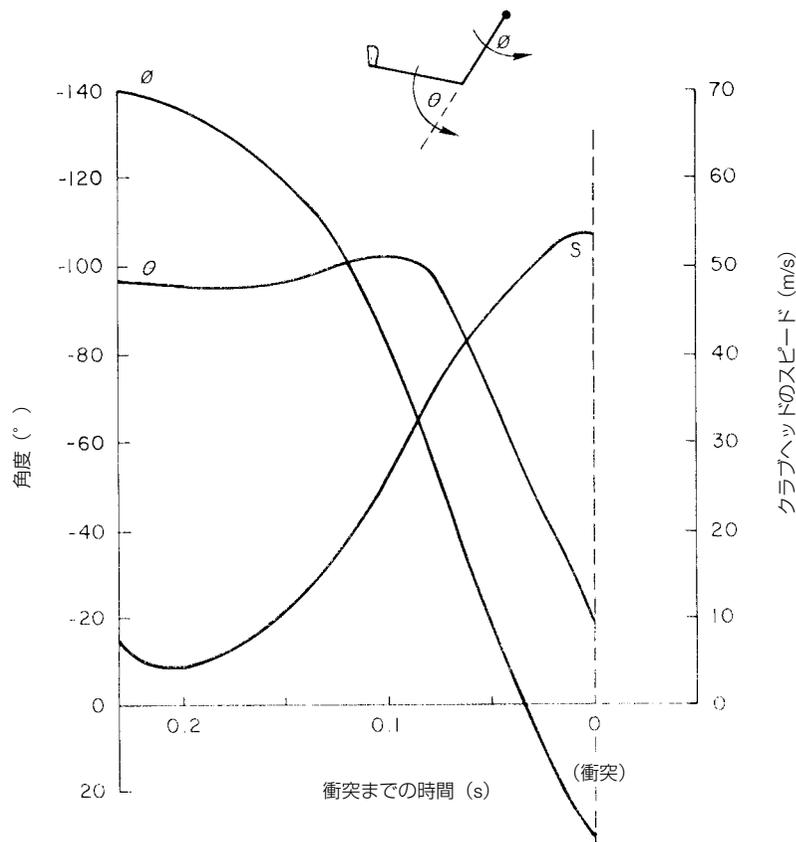


図11-6 ドライバーショット中における位置とスピードの変化 (Budney, D.R., and Bellow, D.G. [1979] Kinetic analysis of a golf swing. Research Quarterly, 50:171-179より改変)

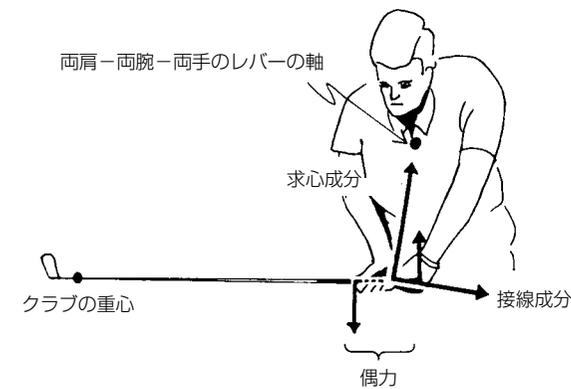


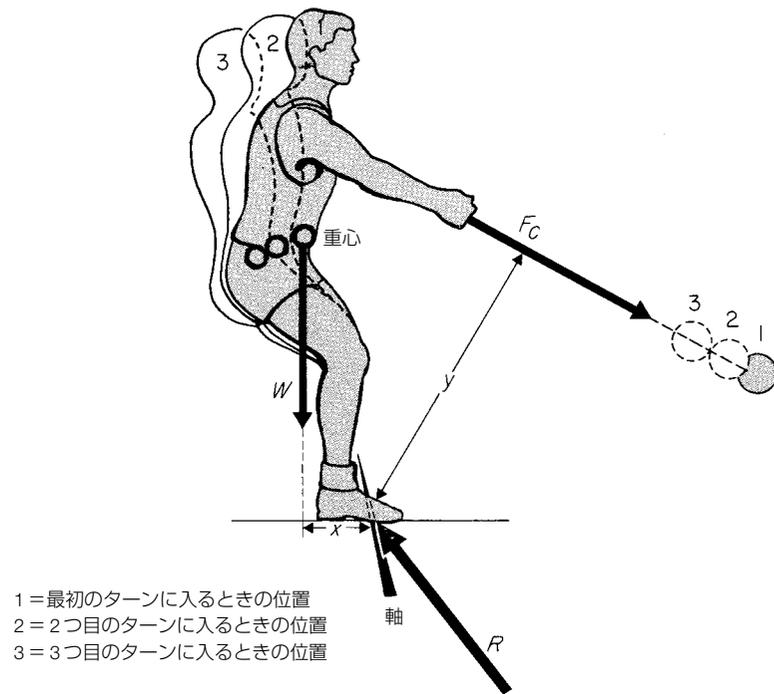
図11-7 胸を通る軸に関して考えられるクラブのグリップへ作用している力

あり、またその成分は重心を通る軸に対してクラブを回転(より正確には角加速)させようとする性質があるからである。この回転方向は、手首の「アンコック」と一致している。もしくは、クラブシャフトと左腕の線からなる角度の減少と一致している。

2. 接線成分は、その名前が示すように、クラブのハンドグリップがたどる軌道に対して接線方向へ作用している。この成分はハンドグリップとクラブ全体を、その成分が作用する方向へ加速させる役割を果たす。その作用線がクラブの重心を通らないとき、この成分もまた求心成分の反対方向へクラブを角加速させようとする。これら2つの成分は全体として、クラブを円軌道に沿って加速させ、クラブの重心を通る軸に対して回転をさせる。この回転の方向は、2成分の対立する性質のどちらが強いかによって決まる。

手がグリップに作用する合力に加え、両手の結合作用も結果的にグリップへ作用する偶力を生じる可能性がある。よって、左手によって与えられる抵抗に対して、右手がそれと等しい力で下に押すならば、手首をアンコックしようとする偶力が出現するであろう。そのような偶力が存在するかどうかという問題があるため、文献の間で意見が異なるのである。Bobby Jonesのスイングを解析した結果、Williams (20) は「手(もしくは手首のアンコック)のレバー作用が、通常『ヒッティングエリア』と呼ばれている中で、クラブヘッドの加速とは無関係であるという根拠を数学的に証明した」と強調して結論づけた。この見解は、「右利きの学生レベルのゴルフ選手4名」と「団体から認められた右利きのローハンディキャップゴルフ選手1名」のドライバーショットを解析し、ダウンスイングの後半の段階で左手首は「自由な蝶番」として振る舞っていたと結論づけたMilburn (21) によって支持された。

一方、CochranとStobbs (22) は、より広く支持された見解について明言している。裏づけとなる証拠なしに(彼らの本は一般読者向けであり、根拠となる詳細な科学的な証拠の全てを含んでいるわけではない)、彼らは「クラブヘッドにスピードを加えるための明らかな方法は、蝶番[手]で努力することである。…これを行うために、右腕は単に…押す、つまり肘は真っ直ぐにしよう



- 1=最初のターンに入るとき
2=2つ目のターンに入るとき
3=3つ目のターンに入るとき

図17-19 競技選手は、バランスを維持するため、遠心力が徐々に大きく作用するにつれて「ハンマーに対して後方へ腰をおろす」ようにする必要がある

ハンマーを保持するために競技選手が作用する求心力も増加する（式6-12を参照）。この求心力の増加によって同時に、ハンマーによる競技選手への遠心力も、反作用として同じだけ増加する。この遠心力の増加に伴い、競技選手が前後のバランスを保つために、継続的に身体の姿勢を修正することが必要となる。図17-19の競技選手は、3つの力の作用を受けている（ W ：重心を通り作用する重力、 F_c ：ハンマーが手に作用する遠心力、 R ：両足に作用される地面反力）。これらのうち最初の2つの力は、競技選手を両足を通る横軸回りに回転させる性質がある（反時計回りのモーメント Wx を伴う W と、時計回りのモーメント $F_c y$ を伴う F_c ）。競技選手が回転速度を増加するにつれ、それに応じて F_c とモーメント $F_c y$ は増加するが、反対のモーメント Wx は変わらない（もちろん、競技選手の位置の調節が、モーメントアーム x の大きさが変わらない限り）。回転率が増加するにつれ競技選手が x を調整しないならば、彼は最初（回転率が低いとき）の身体姿勢を保つのに必要となる以上の時計回りの合成モーメントを受ける。この過剰なモーメントによって引き起こされる深刻な問題を克服するために、優れたハンマー投げ選手は徐々に「ハンマーに対抗して腰を下ろす」ことによって身体の姿勢を修正する。この動作により、股関節と膝が屈曲するとともに重心が下がり、後方へ移動する。これにより遠心力のモーメントアームが減少し、体重のモーメントアームが増加して2つの力の関係が適切なものとなる（図17-19）。

放出の高さ

放出の高さは、主に放出時における投擲選手の身体の姿勢によって決まる。

しかしながら、それぞれの投げの間の違いは、実際には一般にほとんど問題とならないほど小さい。

放出の角度

ハンマーは一般にほぼ肩の高さ（地上1.6～1.9mの高さ）で放出されるため、最適な放出角度は45°よりわずかに小さく、45mを超える投擲では43～44°である（Otto [60] が77.06～83.06mの世界レベルの投擲から得た放出角度は、38～44°の範囲であった）。

空気抵抗

ハンマー投で達成された距離に対する空気抵抗の影響は、一般に考えなくてよいとされている。たとえば、Payne (61) は、海拔レベルの61m（200フィート）の投げに対して空気抵抗により0.6～0.9m（2～3フィート）減少すると報告している（投擲距離全体の1～1.5%の減少）。

技術

トップクラスのハンマー投選手による技術の例が、図17-20に示されている。次の点について注目すべきである。

(a)*予備スイング。投擲選手の初期スタンスにおいて、サークルの縁付近で肩幅よりわずかに広げて両足を置き、両脚は屈曲し、体重は右足の上、上半身は右に約90°捻られ、腕はハンマーのワイヤーの線よりも後方に伸展している。 (a_1) の過程で、この位置から、投擲選手はハンマーを前方へ振り出し、予備スイングへ入り、重心を左に移動し、体幹を直立にしていく。ハンマーヘッドが競技選手の前を横切って左へ通過していくとき (a_2) と a_3 、競技選手は重心を右に向かって後方へ移動する。これら重心の位置の調節は、競技選手の体重モーメントによって遠心力の「バランスを崩す」モーメントを相殺させるために必要である。しかしながら、同時に競技選手は、ハンマーヘッドが可能な限り最大の円弧を通って移動できるよう努力する（つまり、可能な限り回転半径を大きくする）。そうするために、投擲選手は自分の上半身を側方 (a_2) とわずかに後方 (a_3) へ傾ける（この運動はハンマー投げにおいてカウンタリングとして知られている）。

この過程において (a_3) と a_4 、ハンマーが投擲選手の左へ振られ、背後に回り始める前に、投擲選手は股関節と肩を十分に右へ回転させながら、頭上を横切るハンマーを素早く手で引く。これにより、競技選手の股関節、肩、ハンマーワイヤーそれぞれが右へ回りながら徐々に遠ざかった「wind-up」姿勢になる。この姿勢は、ハンマーヘッドがスイングのハイポイントを通過した後すぐに達し、そこから競技選手は股関節と肩を前方へ回転させる筋群を収縮させることで、ハンマーワイヤーに沿って力を作用する。ハンマーのワイヤーの長さに沿って、下方と内方に作用するこの力は、同じ方向に作用するハンマーの重量成分によって補われる (a_4) 。

(b) 第1ターン。ハンマーヘッドがスイングのローポイントを通過した直後に、投擲選手は左足の踵と右足の母趾球を軸として最初のターンに向かって動き始める (b_2) 。この動作は、左へ投擲選手を押し出すために右足を介して作用され、だんだん力が大きくなりながら継続する (b_3) 。この動作の局面を通して、投擲選手の腕は、受動的なハンマーワイヤーの延長として働き（実際に、

*括弧内のアルファベットは図17-20に示された投擲の対応する部分を示している。