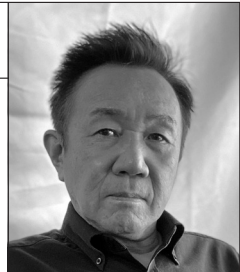


RSImodによる爆発的筋力と 競技特異的なジャンプ能力の強化

「より高く」だけではなく「より速く、かつより高く」跳ぶ能力の測定と評価②



長谷川 裕

龍谷大学
スポーツサイエンスコース教授
JATI名誉会長 JATI-SATI

今回は、前号でも紹介したRSImodに関する最新の研究を取り上げながら、RSImodを測定することで、より詳しく知ることのできる選手の能力特性や改善課題、具体的な測定方法について解説する。

前回は、爆発的筋力や弾性筋力の評価に用いられるRSIとRSImod（アールエスアイモッド）の意味と測定原理の概要を紹介しました。今回は、RSImodに焦点を当て、RSImodに関する最新の研究を取り上げながら、RSImodの競技特性、RSImodを測定することで、より詳しく知ることのできる選手の能力特性や改善課題、具体的な測定方法について解説します。RSIとRSImodの概要については、ぜひ本誌のNo89をご覧ください。

1. RSIとRSImodの違い

（前回の復習）

RSImodというのは、RSI modifiedの略で、修正されたRSI、または変形されたRSIという意味になります。RSIはreactive strength index反応筋力指数のことですから、RSImodは、

一般的に変形反応筋力指数と訳されています¹⁾。しかし、ここではより簡単にRSImodという用語を用いることにします。

RSIの測定は、一定の高さの台から落下して着地と同時に跳び上がるドロップジャンプ（DJ）や、膝の屈曲/伸展をあまり行わず、足関節もできるだけ固定して行う短い接地時間でのジャンプを繰り返す連続的リバウンドジャンプと呼ばれる運動で測定し、その跳躍高(m)を接地時間(s)で割って得られる値の最大値や平均値を採用します。

これに対してRSImodは、ドロップジャンプや連続的なジャンプではなく、カウンタームーブメントジャンプ（CMJ）を用い、RSIにおける接地時間の代わりに、ジャンプ動作の開始から踏切の瞬間までの時間、つまり沈み込みの開始から離地までに要した時間で跳躍高を割ります。この時間はtime

to take offの略でTTTとか、踏切時間あるいは動作時間と呼ばれています。したがってRSImodは、沈み込み動作の開始から離地までをいかに短い時間でやり、なおかつ高く跳ぶかを評価する指標となります。

2. RSImodの性差、 競技特性と 競技レベルによる差

RSImodの性差について調べた研究では、一般的なCMJを用いた測定以外にタックジャンプやシングルレッグジャンプあるいはダンベルを保持したCMJについても男女による違いが比較され、いずれにおいても男子の方が女子よりも有意に大きな値が示されました²⁾。

NCAA Div1に所属する男子野球、男女サッカー、男女テニス選手計86名を対象として下肢のストレッチ-ショートニングサイクルの利用効率を調べる目的で行われた研究³⁾で、反動を用いずにスクワット姿勢からすぐに跳び上がるスクワットジャンプ(SJ)の跳躍高に対するCMJの跳躍高の割合、が次の3つの方法で計算されました。(CMJ-SJ)/SJ×100、CMJ/SJ、CMJ-SJ。そしてこれらの値をRSImodと比較しました。



その結果、RSI_{mod}はこれら3つの指標全てと有意差があり相関はほとんど示されませんでした。そしてRSI_{mod}にのみ、男子サッカー>男子野球>女子バレー>男子テニス>女子サッカー>女子テニスというチーム間の有意差が示されました。この結果は、RSI_{mod}という指標から、CMJやSJだけからは得られない競技特性を知ることができることを示しています。

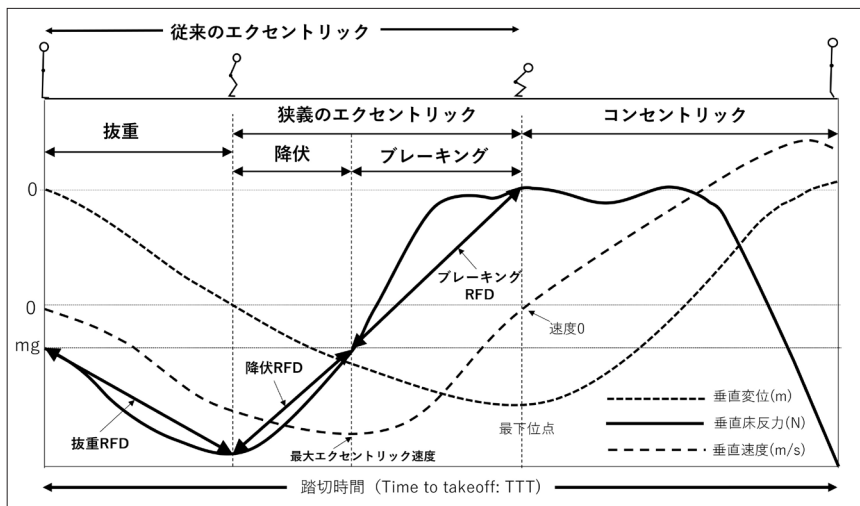
また別の研究^{4,5)}で、さらに多くの106名のアスリートを対象として行われた研究では、RSI_{mod}では、男子サッカー>男子野球>女子バレーボール>男子テニス>女子サッカー>女子テニスという順で有意な差が示されました。

29名のNCAA Div1に所属する野球選手（投手13名、野手16名）を対象に自体重と20kg荷重条件でのRSI_{mod}を調べた研究⁶⁾では、野手のほうが投手よりも有意により大きなRSI_{mod}を示しました。

43名の英国のプロラグビー選手を対象に行われた研究⁷⁾では、RSI_{mod}によって上位20名と下位20名に分けたところ、上位群は下位群よりも有意により短い踏切時間でより高く跳んでいることが示されました。

さらに、同じく英国のプロラグビー選手104名（フォワード55名、バックス49名）を対象とした研究⁸⁾では、パーセンタイル順位によって上位、上位～中位、中位～下位、下位の4群に区分すると、群間および各群間のポジション間に有意な差が見られ、バックスはフォワードよりも短い踏切時間でより高く跳び、より大きなRSI_{mod}が示されました。

ハンガリーの男子15~18歳のサッカー、バスケットボール、ハンドボール、



(Krzyszowski et al., 2020, Harry et al., 2020)

図1 カウンタームーブメントジャンプにおける局面の理解

ポートの選手、合計115名を対象とした研究⁹⁾では、サッカー選手とバスケットボール選手は、ハンドボールとポート選手よりも有意に大きいRSI_{mod}が示され、年齢による差はありませんでした。

男子格闘技選手20名と日常的にスポーツ活動を行っている一般男子16名を対象に、RSI_{mod}の測定をしたところ、格闘技選手のほうが有意に高い跳躍高を示しましたが、踏切時間には差がなく、RSI_{mod}においても両群に有意な差が見られませんでした¹⁰⁾。

スロベニアのエリートバレーボール選手40名を対象として、40cmの高さからのDJにおけるRSI、CMJにおけるRSI_{mod}、そしてバレーボールの競技特異的なアプローチジャンプの跳躍高の関係を調べた結果、これら3つの指標の間には有意な中等度から高い相関が示されましたが、最も高い相関が示されたのはアプローチジャンプとRSI_{mod}との間でした¹¹⁾。

以上の研究結果から、RSI_{mod}には男女差があるとともに、競技特性やポジション特性や競技レベルによって有意な差が生じる指標であることがわかります。したがって、RSI_{mod}によ

て、目標値を設定したり、進捗状況を確認したり、コンディションをチェックしたりすることが可能であると言えます。

3. RSI_{mod}の信頼性

トレーニング指導において特定の指標を、目標設定や進捗状況のモニターやコンディションチェックに使うには、その指標に信頼性があることが不可欠の条件となります。その点で、RSI_{mod}は、上述した全ての研究²⁻¹¹⁾で、複数回の測定値の一致度を示す級内相関係数(ICC)および測定値間のバラつき度合いを示す変動係数(CV)において高い信頼性が示されています。

したがって、RSI_{mod}は十分信頼性のある指標として、選手一人ひとりの特性やその変化を的確に把握するために使用することが可能である指標であるといえます。

4. RSI_{mod}に影響する能力要素

こうしたRSI_{mod}の値に影響する能力特性、言い換えればRSI_{mod}の値の

違いは何によって生じるのでしょうか。もちろん直接的には跳躍高と踏切時間によるものですが、さらに深く分析したときに、何が跳躍高と踏切時間そしてその比率であるRSI_{mod}を規定するのでしょうか。このことを理解することは、得られたRSI_{mod}を基にしてどのようなトレーニングをするべきかを考える上で重要な判断材料となります。

跳躍高それ自体は、踏切時の初速度によって規定されます。そしてこの初速度は、フォースプレートで測定されたCMJの動作中のコンセントリック局面の力積を体重で除した値によって決まります¹²⁾。したがって、より短いコンセントリック時間でより大きな力積を得ることができればより速くより高く跳ぶことが可能となります(注)。ではエクセントリック局面はどうでしょうか。

これを理解するためにはCMJにおける動き始めから踏切における離地までの動作の局面を詳しく分析する必要があります。

この動作が大きく分けてエクセントリック局面とコンセントリック局面から成り立つことは、誰にでもすぐにわかることですが、運動中にフォースプレート上で地面に加えられる床反力と呼ばれる力の垂直成分の変化(垂直床反力)と重心の上下方向の速度(垂直

速度)、そして重心の位置の変化(垂直変位)をさらに詳しく見ると、エクセントリック局面は次の3つの局面に分けることができ、その後コンセントリック局面が来ます^{13,14)}(図1参照)。

■抜重(Unloading)局面

沈み込み動作を開始した時点から、垂直床反力が最小となる時点(垂直床反力曲線の最下端)まで。図中のmgは身体質量×重力加速度を示す。じっと立っているだけならmgのままだが、素早い股関節と膝関節の屈曲、足関節の背屈により垂直床反力はmg以下となる。重心が下がっていているので垂直変位の曲線は下向きで、垂直速度も下向き。

■降伏(Yielding)局面

抜重局面の終了した時点から、負の速度つまり下向きの速度が最大となる時点(速度曲線の最下端)まで。この局面では、垂直床反力はまだmg以下だが、変化する方向はすでに上向きになっており、筋力が発揮し始めているが、速度曲線は下降し続けている。重心はまだ下がっていているので垂直変位はまだ下向き。

■ブレーキング(Braking)局面

降伏局面の終了した時点から、コンセントリック局面の開始(速度は0m/

s、垂直変位曲線の最下端つまり重心が最も低くなった時点)まで。重心はさらに下がっているが、下向きの速度にブレーキがかかり減速して行って速度0になって重心の最下端で瞬間的に静止するまでの局面であり、垂直床反力は、すでに身体質量×重力であるmgより大きくなる。この後の局面がコンセントリック局面となる。

■コンセントリック(concentric)局面

上昇あるいは推進(propulsive)局面とも呼ばれ、ブレーキング局面の終了から、離地の瞬間まで。重心の垂直曲線は最下端から上昇し、速度もマイナスからプラスに転じる。

このように区分することで、抜重局面、降伏局面、そしてブレーキング局面中の垂直地面反力の変化量をそれぞれの局面に要した時間で割った値であるRFDは、抜重RFD(マイナスの値となる)、降伏RFD、そしてブレーキングRFDに区別することができます。

RSI_{mod}とこれらの各局面の力発揮や時間特性との関係を調べたこれまでの研究を総合すると^{13,15-17)}、RSI_{mod}の値と強い関係を示す要素は、より高い跳躍高とより短い動作時間(踏切時間)は当然として、それ以外では、より大きな抜重RFDとブレーキングRFD、より短い抜重時間とコンセントリック時間が強く関係していることがわかりました(図2)。

このことから、端的に表現すると、大きなRSI_{mod}は、素早い沈み込みの最初に素早く力を抜くこと、その直後に素早く大きな力を発揮して沈み込みに急激なブレーキをかけること、そしてできるだけ短い時間で上昇することが必要だといえます。言葉でいうとこ

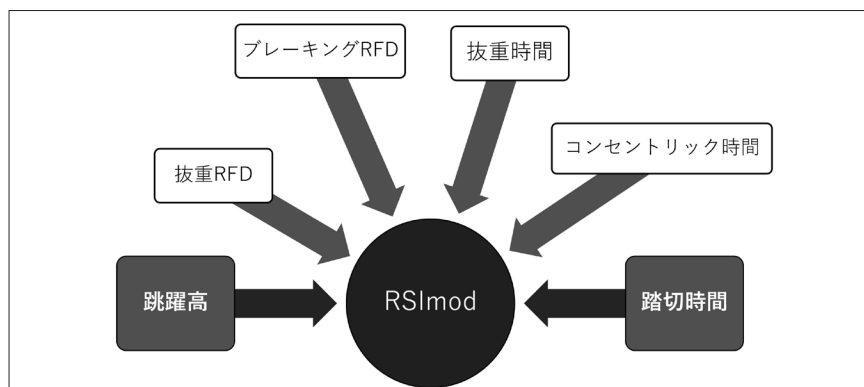


図2 変形反応筋力指数の規定要因

(注)このあたりのバイオメカニクスに関する理解はトレーニング指導者にとって極めて重要ですが、曖昧にしたままの人が多くいます。その結果、感覚的な理解に基づいた間違った指導、例えば、「高く跳ぶためには、コンセントリック局面で強く地面を押すことが最も大切だ」とか、「踏切での最大速度を得るためにはその瞬間に最大筋力を発揮する必要がある」といった指導がなされることがあるようです。跳躍動作における力学についてはこの連載でも別の機会に詳しく、かつわかりやすく解説する予定です。

うなりますが、実際の動作のコントロールは極めて瞬間的ですからこれをどのような感覚で行うか、そのためにどのようなトレーニングをするべきか、には別の議論が必要です。

腕振りの有りと無しの比較では、腕振りありのほうが有意に大きなRSImodを示し、実際に腕の振り込みが必要となるパフォーマンスにおいては、この要素もRSImodに影響することがわかります¹⁸⁾。

さらにエリート400mスプリンターを比較した研究¹⁹⁾では、ベストタイム45.65秒の選手のほうがベストタイム46.19秒の選手よりも大きなRSImodを示し、それが主としてブレーキング時間の短さと沈み込みの浅さに起因することから、400mスプリントのラスト50mにおいては、ストライド長が低下することよりもスティフネスの低下によってストライド頻度が減少してしまうことがパフォーマンスの規定因子となる²⁰⁾、という仮説を裏付ける結果であると指摘されています。

以上のことから、より大きなRSImodは、できるだけ短い踏切時間でできるだけ高く跳ぶこと、短い抜重時間でその間に素早く地面に対する下向きの力を減少させること、その後のブレーキング局面において素早く力を立ち上げること、そしてコンセントリック局面の時間を短縮することによって得られることがわかります。そしてRSImodは、競技特性やポジションの違いを反映するとともに、競技レベルの違いを反映することから、より大きなRSImodを得るためのトレーニングはより優れたパフォーマンス発揮につながる可能性が大きいといえます。

ですから、フォースプレートを用い

てこうした個々の要素をモニターしながらトレーニングすることが最も有効ですが、現実問題としていつでもだれでもフォースプレートを用いてトレーニングする環境はまだありません。したがって、少なくとも単にジャンプ高や絶対的な力の大きさ、ましてや1RMの大きさを追求するのではなく、RSImodを定期的に測定し、より大きな力をより短い時間で発揮できているかどうかを測定しながらトレーニングすることが必要です。例えば、スクワットにおいて可動域と負荷の大きさが同じならば、いかに高速で挙上できているかをモニターしながら行うトレーニングが有効です。

5. VmaxproによるRSImodの測定

上述したようなCMJにおける各局面を区別するには、フォースプレートが必要となりますが、RSImodの測定それ自体は、加速度計とジャイロスコープを内蔵したVmaxproを用いることで簡単に測定することが可能です。VmaxproのCMJの測定値にはフォースプレートで得られたCMJの跳躍高との比較によって、高い妥当性があることが示されています²¹⁾。

Vmaxproは重さ16gの超小型VBTデバイスで、ウェイトトレーニングではバーに直接マグネット装着しますが、CMJでは、写真のような専用のベルトで腰の後ろに固定して測定します。

RSIだけであればマットスイッチ（コンタクトマット）に

おける接地時間と、滞空時間から計算された跳躍高でも測定可能ですが、RSImodを調べるためには、静止した状態での沈み込み動作の開始から切り返して足が離地するまでの全動作時間を知る必要がありますから、力の変化を測ることができないマットスイッチでは測定不可能です。

また、Vmaxproによる跳躍高の測定方法は、マットスイッチが採用している滞空時間からの計算ではなく、垂直床反力が0になった瞬間からの上昇速度の変化（減少）を積分することによって最も高い位置を直接求める、という方法を採用しています。

したがって、マットスイッチによる跳躍高の測定でよく見られるような、実際には重心高はさほど上昇していないのに、空中で膝を曲げることによって一定の滞空時間が検知されて、それに基づく実際よりも大きな跳躍高が得られたり、跳躍の下降局面において股関節や膝を曲げて着地したりすることで全体的な滞空時間が延長し、それによってより高く跳んだと判断されてしまうという測定誤差を防ぐことができます。

また、Vmaxproでは、バレーボールやバスケットボールで見られるような2～3歩助走からのアプローチジャンプや、サイドステップからのブロックジャンプの跳躍高も正確に測定する



Vmaxproと専用ベルト

ことができます。

さらにいえば、マットスイッチの場合は、平らな床の上で素足または屋内シューズでの測定が基本となりますが、Vmaxproの場合は、それ以外に屋外の土や芝の上でスパイクシューズを履いた状態でも測定できるため、より競技特異的なRSIやRSI_{mod}の測定をしたい指導者にとっては有用です。腰に装着したセンサーによって非接触的にデータを取得しますから、マットの表面が摩耗したり内部の電極がダメージを受けたりすることがないため故障のリスクも低くなります。

1回CMJをする度に、図3のような跳躍高と踏切時間とRSI_{mod}の3つの数値が同時にリアルタイムに表示されますから、同じ跳躍高により短い動作時間で到達しようとか、逆に同じ動作時間でより高く跳躍しようといったことを意識しながらRSI_{mod}の値を追求することができます。これにより、単に高く跳ぶというだけではない競技特異的な爆発的筋力の発揮を向上させるための効率の良いトレーニングと評価、を行うことができます。

結論

以上のように、垂直跳びの跳躍高の測定だけではわからない競技特異的な跳躍能力や爆発的筋力がRSI_{mod}の測定によって知ることができます。

従来は高額なフォースプレートがないと測定できなかったRSI_{mod}は、今日ではVBTデバイスで手軽に測定できるようになっています。ぜひRSI_{mod}を日常的に測定して、トレーニング指導の効果を上げていただきたいと思います。

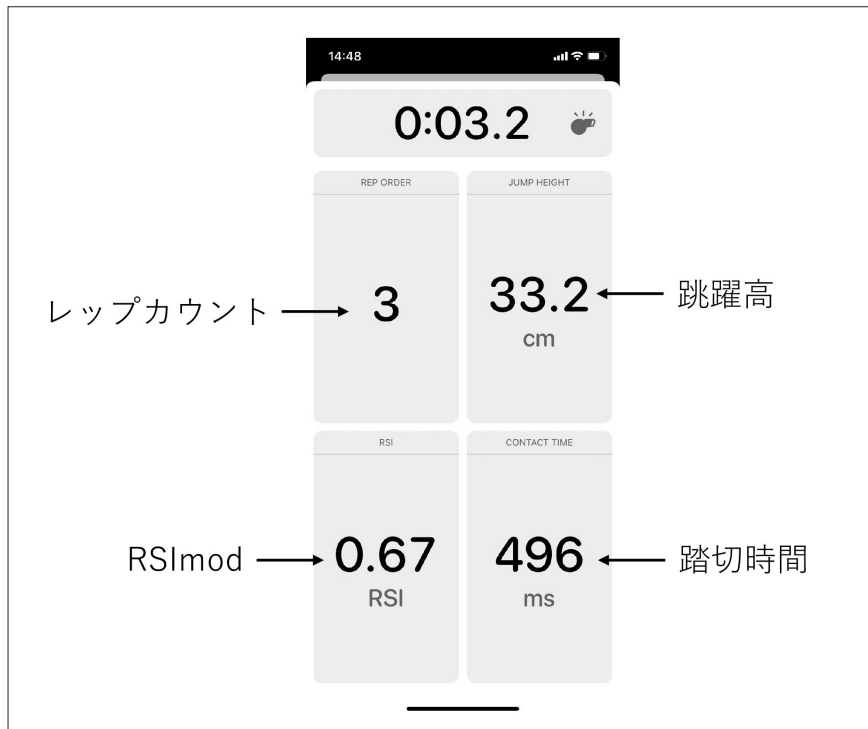


図3 VmaxproによるCMJ測定においてリアルタイムで表示される値

参考文献

- 長谷川裕「より高く」だけではなく「より速く、かつより高く」跳ぶ能力の測定と評価, Jati Express, 89, 10-13, 2022.
- Ebben, WP and Petushek, EJ. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. J Strength Cond Res 24: 1983-1987, 2010.
- Suchomel TJ, Sole CJ, Stone MH. Comparison of method that assess lower-body stretch-shortening cycle utilization. J Strength Cond Res 30(2): 547-554, 2016.
- Suchomel TJ, Bailey CA, Sole CJ, Grazer JL, Beckham GK. Using reactive strength index-modified as an explosive performance measurement tool in division I athletes. J Strength Cond Res 29(4): 899-904, 2015a.
- Suchomel TJ, Sole CJ, Bailey CA, Grazer JL, Beckham GK. A comparison of reactive strength index-modified between six U.S. collegiate athletic teams. J Strength Cond Res 29: 1310-1316, 2015b.
- Bailey CA, Chchomel TJ, Beckham GK, Sole CJ, Grazer JL. A comparison of baseball positional differences with reactive strength index-modified. Proceedings of 32th International conference of biomechanics in sports, 2014.
- McMahon JJ, Lake JP, Comfort P. Reliability of and relationship between flight time to contraction time ratio and reactive strength index modified. Sports 6(81) 2018.
- McMahon JJ, Lake JP, Dos'Santos T, Jones PA, Thomasson ML, Comfort P. Countermovement Jump Standards in Rugby League: What is a "Good" Performance? J Strength Cond Res 36(6): 1691-1698, 2022.
- Petridis L, Tro znai Z, Palinkas G, Kalabiska I, Szabo T. Modified reactive strength index in adolescent athletes competing in different sports and its relationship with force production. Am J Sports Sci Med 5: 21-26, 2017.
- Vieiral A and Tufano JJ. Reactive strength index-modified: reliability, between group comparison, and relationship between its associated variables. Biology of Sport. 38(3), 451-457, 2021.
- Presa J, Kozinc Z, Smajija J, Saraobon N. The association between reactive strength index and reactive strength index modified with approach jump performance. Plos One, Feb. 2022.
- 長谷川裕, 長谷川昭彦, 斎藤朋弥. フォースプレートによる力積と加速度計による滞空時間から得られたカウンタームーブメントジャンプテスト結果の比較. 第7回日本トレーニング指導学会大会ポスター発表, 2018.
- Krzyszowski, J, Chowning, LD, and Harry, JR. Phase-specific predictors of countermovement jump performance that distinguish good from poor jumpers. J Strength Cond Res 36(5): 1257-1263, 2022.
- Harry JR, Barker LA, Paquette MR. A joint power approach to define countermovement jump phases using force platforms. Med Science Sports Exerc 52: 993-1000, 2020.
- Barker LA, Harry JR, Mercer JA. Relationships Between Countermovement Jump Ground Reaction Forces and Jump Height, Reactive Strength Index, and Jump Time. J Strength Cond Res 32(1) :248-254, 2018.
- Kipp K. Joint- and subject-specific strategies in male basketball players across a range of countermovement jump heights. J Sports Sciences 38: 652-657, 2020.
- Harry JR, Paquette MR, Schilling BK, et al. Kinetic and electromyographic subphase characteristics with relation to countermovement vertical jump performance. J Appl Biomech 34: 291-297, 2018.
- Heishman A, Brown B, Daub B, Miller R, Freitas E, Bemben M. The influence of countermovement Jump protocol on reactive strength index modified and flight time: contraction time in collegiate basketball players. Sports 7(37) 2019.
- Batra A and Krzyszowski J. Jump phase characteristics in high level 400m sprinter—using different jump types to assess lower-body strength/power characteristics. SPSR Aug. 2020.
- Hanon C and Gajer B. Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. J Strength Cond Res. 23(2): 524-531, 2009.
- Haynes H. The validity of the VmaxPro during countermovement jump and back squat Performance. Master's thesis 888, The university of southern Mississippi, Part of the biomechanics commons, and the exercise science commons, 2022.