©NSCA JAPAN
Volume 29, Number 8, pages 71-80

Key Words【正確性：accuracy、信頼性：reliability、妥当性：validity、スマートフォン：smartphone、ジャンプ診断：jump diagnostics】

ジャンプ測定のためのスマートフォンの利用：My Jumpアプリケーションの妥当性と信頼性に関する簡潔なレビュー

Using Smartphones for Jump Diagnostics：A Brief Review of the Validity and Reliability of the My Jump App

Anthony P. Sharp, [1、2] M.Sc.　**John B. Cronin,** [1] Ph.D.　**Jonathon Neville,** [1] Ph.D.
[1]Sports Performance Research Institute New Zealand (SPRINZ) at AUT Millennium, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand
[2]New Zealand Cricket High Performance, Lincoln, New Zealand

要約

ジャンプやホップに基づくテストからは、スプリントや方向転換などの爆発的な競技動作におけるアスリートの能力に関して貴重な洞察を得ることができる。通常、これらの能力の測定や分析には高額の費用がかかり、また実験室で行なわれる。近年、商業分野から入手できるスマートフォンに搭載されたビデオ技術が進歩したことにより、スポーツパフォーマンスに対する有用性が増している。この技術はストレングス＆コンディショニングコーチにとっても非常に役立つ可能性があるが、それらの正確性や感度はほとんど明確にされていない。この簡潔なレビューでは、ジャンプに基づく運動能力の診断に関して、My Jumpというスマートフォンのビデオアプリの妥当性と信頼性を考察する。

はじめに

様々な両側性また一側性のジャンプやホップに基づくテストは、競技能力の分析によく用いられるが、それは、ジャンプやスプリントなど、競技パフォーマンスにおける爆発的運動に類似しているからである。これらの運動に熟達することは競技における成功にとってきわめて重要であり(3)、ジャンプのパフォーマンスは、スプリント(1,6,13,17,20,30)や多方向へのスピード(22)を含む課題と強い相関関係がある。垂直および水平方向のテストでは、常に、毎回の試技でジャンプの距離を巻き尺で図るか、滞空時間を測定するために基本的なコンタクトマットを使用する。しかしアスリートの身体機能(最も単純に表現すれば距離または高さによって定義される)を見極めるには、それぞれの試技の運動学的また運動力学的特徴を把握して、アスリートがどのようにジャンプパフォーマンスを行なっているかを解明することもまた重要な価値をもつだろう。通常、そのような情報を得るためには、高価なフォースプレート(29)や、モーションキャプチャシステム(29)、圧力センサー(9)、あるいはフォトセルテクノロジー（Optogate： Microgate, Bolzano, Italy)(23)など、実験室に設置された機器の使用が不可欠であり、同時に、出力データの解析には高度なトレーニングも必要である。

3次元(3D)ビデオ動作解析の利用は、跳躍や着地の課題を評価するゴールドスタンダードである。しかし、バイオメカニクス分析を取り入れた、低価格のスマートフォンやタブレットの2次元(2D)ビデオ技術を利用することにより、実験室環境の外でも、妥当性と信頼性のある高いレベルのデータを把握できると思われる(4,5,12,14,16)。これは、より手頃な価格で、より容易に入手可能な解決策である。現在市場には、スマートフォンに内臓された加速度計とジャイロスコープを用いたJumpster、My Vertical、Vertical Jump Calculatorなどの多く

のアプリケーションが溢れている。最近の携帯電話におけるビデオ技術の進歩により、特にスマートフォンの高いフレーム率と解像度が利用可能になったことにより、スポーツパフォーマンス、健康、ウェルネスおよび医療分野のコホート(統計集団)において、それらの利用が指数関数的に増加している。What's My Vertical、My Vertical、My Jump、さらに、後継のMy Jump 2などのスマートフォン用アプリケーションは、これらのビデオ技術を応用していくつかの評価を行ない、垂直跳びの診断結果を入手できる。本稿の簡潔な研究レビューでは、スマートフォンビデオ技術の正確性およびジャンプの診断における変数の信頼性と妥当性を見極め、ストレングス&コンディショニング(S&C)専門職に、ジャンプの診断にこれらを利用するための実用的な洞察と注意、助言を提供する。

スマートフォンアプリケーション「My Jump」

研究文献のレビューから、この分野の研究が不足していることが明らかとなった。そのためレビューの対象となった研究はわずか6件だけである**(表1)**。6件すべての研究が、My Jumpと呼ばれるスマートフォンのアプリケーションと、その後アップグレードされたMy Jump 2に関する研究である。これらのアプリケーションは、垂直跳びに基づくいくつかのテスト(カウンタームーブメントジャンプ、スクワットジャンプおよびドロップジャンプ)や水平方向のジャンプ(立ち幅跳び)を評価する能力があり、さらに、力-速度のプロファイリング機能や非対称性のテストも備えている**(図1)**。

各テストからは、競技パフォーマンスに関連するいくつかの出力変数が得られる。跳躍高(cm)、滞空時間(ms)、速度(m/s)、力(N)、パワー(W)および反応筋力指数(RSI)などである。iPhoneに搭載された高速カメラは、それぞれのジャンプを撮影し、フレームを使って時間を計測し、それに続くすべての変数は、前もって決定された被験者の脚の長さと体重により算出される。全滞空時間は、手作業で動画のフレームを選択することによって、すなわち、実施者が地面を離れた第1フレーム(離地)と再び地面に接触した第2フレーム(着地)を選択することにより、その間の時間が測定される**(図2)**。レビューを行なった各研究において使用されたスマートフォンに搭載された高速ビデオカメラは、iPhone 5sでは、フレーム率120(fps)で画素数720pから、iPhone 6の240 fpsで720pまで、モデルによって異なる。

表1　ジャンプの診断に対するスマートフォンビデオの正確性、信頼性、妥当性を調べた研究

著者	プロフィール(性別、年齢±SD、体重、身長)	目的/テクノロジー	変数	妥当性	信頼性
Balsalobre-Fernándezら(4)	n=20、レクリエーションレベルの活動的な男子学生:年齢22.1±3.6歳、体重74±10.4kg、身長1.81±0.8m	搭載された高速カメラ(120fps、720p)を用いたiPhone 5sアプリケーション(My Jump)の垂直跳びのパフォーマンス測定に関する併存的妥当性と信頼性を確認する	カウンタームーブメントジャンプ(CMJ)(跳躍高)	1,000Hzのフォースプレートに対してr=0.995	セッション内(被験者): 評価者1: α=0.997 CV=3.4% 評価者2: α=0.988 CV=3.6% セッション内(デバイス): ICC=0.997 評価者間:ICC=0.999
Carlos-Vivasら(8)	n=40、活動的な学生(男性29名、女性11名):年齢21.4±1.9歳、体重68.7±8.4kg、身長1.74±0.07m	搭載された高速カメラ(240fps、720p)を用いたiPhone 6のアプリケーション(My Jump)の垂直跳びのパフォーマンスの測定に関する妥当性を確認する	CMJ(跳躍高)	1,202Hzのフォースプレートに対するMy Jump/滞空時間法 ICC=1.000　α=1.00 My Jump/離地速度法 ICC=0.996　α=0.996	セッション内(デバイス):ICC=0.983
Drillerら(10)	n=61、各種競技能力を有する活動的な上級鍛錬者の男性30名、女性31名:年齢20±4歳、体重76.4±15.2kg	搭載された高速カメラ(240fps、720p)を用いたiPhone 6sアプリケーション(My Jump)における垂直跳びのパフォーマンスの測定に関する併存的妥当性と信頼性を確認する	CMJ(跳躍高と滞空時間)	200Hzのフォースプレートに対して 跳躍高r=0.96(0.96～0.97) 平均バイアス0.9±0.2cm TEE=9.7% 滞空時間r=0.96(0.95～0.97) 平均バイアス=8±5ms TEE=19ms	評価者間: 跳躍高: CV=5.8% TEE=1.4cm ICC=0.97

表1　ジャンプの診断に対するスマートフォンビデオの正確性、信頼性、妥当性を調べた研究（つづき）

著者	プロフィール（性別、年齢±SD、体重、身長）	目的／テクノロジー	変数	妥当性	信頼性
Gallardo-Fuentesら（12）	n=21、陸上競技選手の男性14名、女性7名：年齢22.1±3.6歳、体重74±10.4kg、身長1.81±0.8m	搭載された高速カメラ（240fps、720p）を用いたiPhone 6sアプリケーション（My Jump）の鍛錬者の男女における様々なジャンプ活動の測定に関するセッション内とセッション間の信頼性と妥当性を確認する	40cmドロップジャンプ（40-DJ）（跳躍高） CMJ（跳躍高） スクワットジャンプ（SJ）（跳躍高）	コンタクトマットに対して： 40-DJ男性　r=0.99 40-DJ女性　r=0.97～0.98 CMJ男性　r=0.99 CMJ女性　r=0.97～0.98 SJ男性　r=0.99 SJ女性　r=0.96～0.98	セッション内（被験者）： 40-DJ男性 α=0.96　CV=6.05～6.57% 40-DJ女性 α=0.94　CV=5.20～6.06% CMJ男性 α=0.99　CV=4.38～4.64% CMJ女性 α=0.99　CV=4.59～7.60% SJ男性 α=0.97　CV=5.35～5.63% SJ男性 α=0.98　CV=3.77～5.48% セッション内（デバイス）： 40-DJ男性　ICC=0.99 女性　ICC=0.98～0.99 CMJ男性　ICC=0.99 女性　ICC=0.98 SJ男性　ICC=0.98～0.99 女性　ICC=0.97～0.98 セッション間： 40-DJ男性　r=0.84 女性　r=0.76 CMJ男性　r=0.93 女性　r=0.86 SJ男性　r=0.82 女性　r=0.93
Haynesら（16）	n=14、運動科学専攻の男子学生、年齢29.5±9.9歳、体重81.4±14.1kg、身長1.78±0.1m	搭載された高速カメラ（240fps、720p）を用いたiPhone 6のアプリケーション（My Jump 2）の反応筋力指数（RSI）とドロップジャンプに関する妥当性と信頼性を確認する	20-cmドロップジャンプ（20-DJ）（RSI、跳躍高、接地時間および平均パワー） 40-cmドロップジャンプ（40-DJ）（RSI、跳躍高、接地時間および平均パワー）	1,200Hzのフォースプレートに対して 20-DJ RSI　r=0.938 跳躍高　r=0.812 接地時間　r=0.963 平均パワー　r=0.655 40-DJ RSI　r=0.969 跳躍高　r=0.959 接地時間　r=0.981 平均パワー　r=0.571	セッション内（被験者）： 20-DJ RSI　α=0.98　CV=6.71% 40-DJ RSI　α=0.99　CV=10.32% セッション内（デバイス）： 20-DJ RSI　ICC=0.954 跳躍高　ICC=0.803 接地時間　ICC=0.986 平均パワー　ICC=0.507 40-DJ RSI　ICC=0.983 跳躍高　ICC=0.958 接地時間　ICC=0.920 平均パワー　ICC=0.568
Stantonrら（28）	n=29、レクリエーションレベルの活動的な男性10名、女性19名、年齢26.41±5.36歳、体重72.62±12.91kg、身長1.72±0.78m	搭載された高速カメラ（240fps、720p）を用いたiPhone 6のアプリケーション（My Jump 2）のフォースプレートによる測定に対する併存的妥当性と評価者内信頼性を確認する	30cmドロップジャンプ（30-DJ）（跳躍高） CMJ（跳躍高）	1,000Hzのプレートに対して 30-DJ　r=0.999 CMJ　r=0.998	評価者内： 30-DJ　ICC=0.99 CMJ　ICC=0.99 セッション内（デバイス）： 30-DJ　ICC=0.99 CMJ　ICC=0.99

CV=変動係数、ICC=級内相関係数、TEE=標準推定誤差

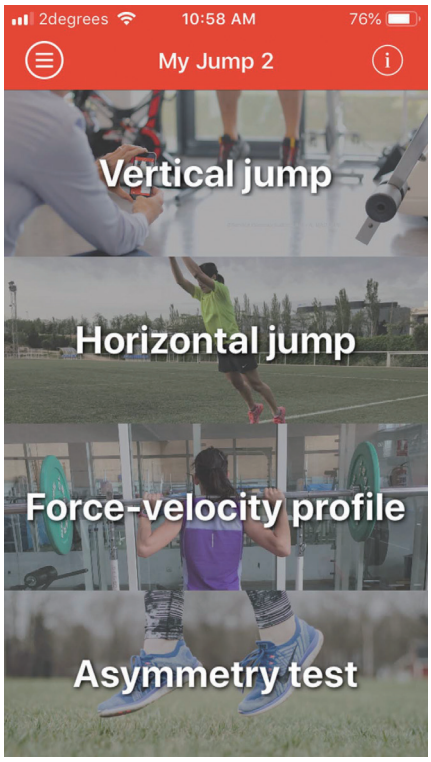


図１　アプリケーションMy Jump２のインターフェース

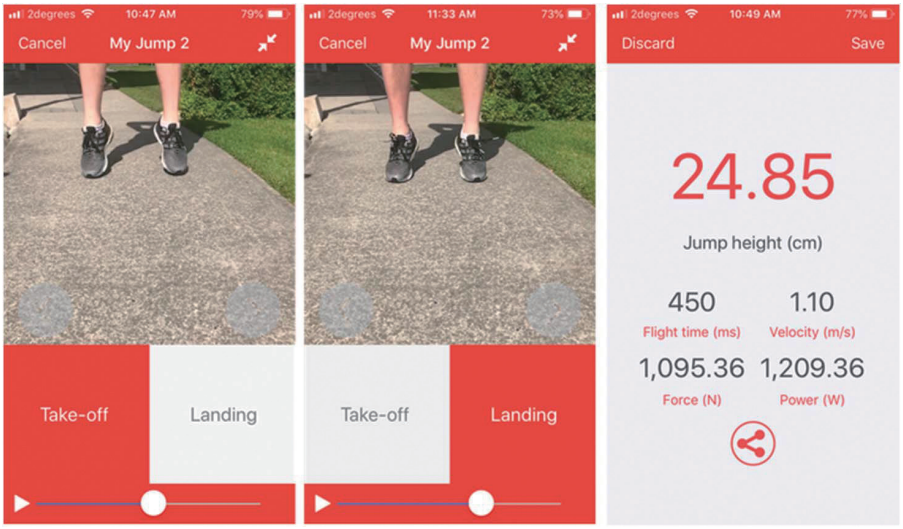


図２　My Jump２のスクリーンショット
カウンタームーブメントジャンプの評価と変数の出力

現場における測定の妥当性と信頼性を究明する

S&C専門職は、あるテクノロジーを現場で用いるべきかを決定する前に、そのテクノロジーまたはデバイス（現場での測定法）の信頼性と併存的妥当性の両レベルを明確にすることが重要である。併存的妥当性とは、実際の測定手段が、測定を意図した変数を正確に検出できる能力を意味する(2)。ジャンプ診断の場合、実際の測定値は跳躍高、滞空時間、接地時間、平均パワーおよびRSIであり、それらについて、iPhoneのMy Jumpから得た値と、フォースプレート（床反力計）(4,8,10,12,16)またはコンタクトマット(28)から得た基準測定値とを比較する。

妥当性に関して実際の測定値と基準測定値とを比較する際には、定性的試験（散布図）および定量的試験（線形回帰）の両方が、これらの２つのデータ間の関係に有益な理解をもたらす(19)。線形回帰を用いることにより、実用的な測定におけるいかなる固定的または比率的バイアスも決定されるだろう。しかしそれは判定基準の測定値に誤差がないと想定した場合である。判定基準の測定値に誤差の可能性があるが、両セットのデータが同じ単位で測定されている場合は、線形分析に対し、ブランド-アルトマンプロット（Bland-Altman plots）を用いるほうがより適切であろう。

信頼性の測定は、複数の機会におけるテストの測定の整合性とその再現性を判定する(31)。これは、長期にわたりアスリートの特徴を記録しパフォーマンスをモニタリングする際にきわめて重要な基準である。整合性を包括的に理解するためには、絶対的信頼性と相対的信頼性の両法の値を決定する必要がある(2)。

絶対的整合性は測定の安定性と複数の被験者内の典型的な変動を示し、変動係数（CV：coefficient of variation）を使って決定される。通常、平均比率、平均の標準誤差（SE）、またはクロンバックの α 信頼係数（内的整合性の測定値）として報告される。CVが10％より低ければ、良好なレベルの信頼性であることが広く認められている(2)。クロンバックの α 信頼系数が≧0.7または＜0.9であれば、通常、信頼性は良好と認められ、α レベル≧0.9は優れていると認められる(26)。

相対的整合性は、方法間の、または長期間にわたる順位や位置付けの再現性を意味する。これは、級内相関係数（ICC）、またはそれほど好ましくはないが、ピアソンの積率相関係数（r）のどちらかを用いて決定される。後者は相関関係の測定基準であり、一致度の測定基準ではない。信頼性の測定は、相関関係と一致度の両方を反映する必要があり、ICCはこれを判定する適切な方法である(21)。Koo＆Li(21)は、相関係数の大きさを以下のように指摘している。ICCの値が＜0.5の場合は信頼性が低く、≧0.5と＜0.75は中程度の信頼性を示し、≧0.75と＜0.9の間は良好な信頼性、≧0.90は信頼性がきわめて高いことを表す。

データを解釈する際に理解する必要があるのは、それぞれの整合性の測定にはある程度の誤差があることであり、それにより専門職は、どの変化が意味があるかを理解できる。誤差の程度は、生物学的誤差（被験者に関連する因子）、技術的誤差（機器）または評価者の誤差などによるもので、系統的誤差（疲労や学習効果による）あるいは偶然誤

差(生物学的変動や注意力による)のどちらかである。これらの誤差は一定であるか(すべてスコアに影響を及ぼす)バイアスか(ある特定のスコアだけに影響を及ぼす)が明らかであり(31)、その場合には、分析を行なう前に対数変換が必要である(19)。

本稿のレビューでは、6件の研究のうちすべてが、CV(5件)、クロンバックのα係数(5件)およびブランド-アルトマンプロット(6件)を用いて絶対的整合性を報告した。相対的整合性の測定は、ICC(6件)とピアソンの積率相関係数(2件)を用いて報告された。これらの統計の応用は、セッション内、セッション間、評価者間など、研究アプローチに応じて研究間で異なっている。

跳躍高

跳躍高は、高速で力を発揮するアスリートの能力を評価するために最も広く用いられている実用的な変数である(25)。用いるテスト次第で、すなわち、静的姿勢から行なうか(スクワットジャンプ)、遅いストレッチショートニングサイクル(SSC)を用いるか(カウンタームーブメントジャンプ)、あるいは速いSSCを用いるか(ドロップジャンプ)で状況は異なる。My Jumpでは、跳躍高はBoscoら(7)から次式を用いて計算される。$h=t^2\times1.22625$ または $h=(g\cdot t^2)/8$、ここでhは重心の総変位(m)(跳躍高)であり、tは総滞空時間(秒)、gは重力加速度(9.81 m/s^2)である。

跳躍高を評価するための基準は、フォースプレートであり、滞空時間による方法を用いるか(4,8,10,12,16,28)、またはFiolら(11)が説明したように、フォースプレート上の離地速度を用いて跳躍高を計算することにより求められる(8)。この式は $h=(Vd^2)/2g$ で、ここでhは重心の総変位(m)(跳躍高)であり、Vdは離地における鉛直速度(m・秒)のモデル、gは重力による加速(9.81 m/s^2)である。

5件の研究が、フォースプレート(4,8,10,28)またはコンタクトマット(12)を用いて、カウンタームーブメントジャンプの跳躍高の併存的妥当性を調査した。5件の研究はすべて跳躍高の算出に滞空時間法を用いた。そして判定基準のカウンタームーブメントジャンプの跳躍高との併存的妥当性が裏づけられた(フォースプレートでは$r=0.96\sim0.995$、コンタクトマットでは$r=0.97\sim0.99$)。1件の研究(8)はフォースプレートを用いて、滞空時間法と離地速度法の両方によりカウンタームーブメントジャンプの跳躍高の併存的妥当性を調査した(11)。その結果、全滞空時間に完全な相関関係が示され(ICC=1.00)、また離地速度を用いた場合にも非常に高い相関関係が認められた(ICC=0.996)。しかし、研究者は離地法でMy Jumpとフォースプレートの間に系統的誤差があることを明らかにし、離地速度法の速度と比較すると、アプリケーションから得た跳躍高が0.78%過大評価されていた。これに関するひとつの可能な説明として、研究者らは、スマートフォンビデオ(240 Hz)とフォースプレート(1,202 Hz)のサンプリング周波数の違いに原因があるとした。この研究では、カウンタームーブメントジャンプを行なう男性と女性のコホート間で、併存的妥当性に有意差は示されなかった(12)。

しかし、My Jumpアプリケーションを用いた際、120 fpsでも240 fpsでも、男性被験者におけるカウンタームーブメントジャンプの跳躍高(CV=3.4～4.64%)は、女性被験者(CV=4.59～7.60%)よりもセッション内の絶対的整合性がより大きかった(4,12)。女性集団内のより大きな変動は、グループの大きさ(41名中わずか7名)と競技プロフィールの多様性(スプリンター3名、長距離ランナー3名、投擲選手1名)によるものかもしれないが、この主張はさらに調査が必要であろう。より大きな変動がみられたのはドロップジャンプ(CV=5.20～10.32%)であり、最大の変動は飛び降りる高さ(40 cm)と運動科学専攻の学生という被験者のトレーニング歴に関連づけられた(16)。ドロップジャンプに伴うより大きな技術的また身体的な要求を考慮すると、ドロップジャンプに関連する変動の増加は、技術的な変動よりむしろ生物学的な変動を反映している可能性が高い。

男性でも女性でも、カウンタームーブメントジャンプ中(4,12)、スクワットジャンプ中(12)、および40 cmのドロップジャンプ中(12)の跳躍高は、優れたレベルの内的整合性が示された($\alpha=0.94\sim0.997$)。My Jumpとフォースプレート間(4,8,10,28)およびコンタクトマット間(12)のカウンタームーブメントジャンプの跳躍高に関しては、My Jumpアプリケーションのセッション内における相対的(序列)整合性は優れていることが示された(ICC=0.97～0.997、フォースプレートICC=0.983～0.997、コンタクトマットICC=0.98～0.99)。また、男性と女性のコホート間で有意差は観察されなかった(12)。スクワットジャンプに関しても類似の結果が得られ(ICC=0.97～0.99)、30 cmドロップジャンプ(ICC=0.99)、40 cmドロップジャンプ(ICC=0.958～0.99)でも優れた整合性が示された。さらに、20 cmドロップジャンプに関しても良好な相対的整合性が示された(ICC=0.803)(12,16)。

My Jumpアプリケーションのプロトコルに従い、複数のセッションにわたり跳躍高を検出する際は、評価者がフレームを選択する際の正確性と一貫性を保証することが専門職にとって重要である。1件の研究(28)は、30 cmドロップジャンプとカウンタームーブメントジャンプの両方のビデオによる試技を7日間、日をあけて116回行ない、跳躍高を決定する評価者内信頼性を

調査したところ、序列整合性においてほぼ完璧な一致が報告された(ICC＝0.99)。しかし、1日目のカウンタームーブメントジャンプの跳躍高もドロップジャンプの跳躍高も、1日目に測定した値が8日目に再び測定した値よりも一貫してより高かったことは指摘しておく必要がある。さらなる分析により、これらの平均値の相違は両方のテストに関して0.38～0.43cmであったことが示された。これは離地か着地のどちらか1つのビデオフレームを識別する際の違いによって生じた可能性が最も高いと思われる。

評価者間信頼性とは、2名またはそれ以上の評価者が正確に測定値を定量化する能力を表し、試験の手続きに若干の主観的局面がある場合には特に重要である。My JumpとMy Jump 2のアプリケーションに関しては、離地および着地の時点を手作業で選択しなければならない。したがって、複数のユーザーがこのアプリケーションを利用する場合は、変動性を決定することが重要である。スマートフォンの技術を使って、絶対的評価者間信頼性(CV＝5.8%)を報告した研究は1件だけである(10)。この研究ではわずか2名の評価者／研究者により、50回のジャンプを評価したが、さらに多くの評価者を用いるか、スポーツ科学／研究の経験のない評価者を用いた場合の変動の大きさ(CV)に注目することは興味深いと思われる。評価者間信頼性はテクノロジーのエンドユーザーに関連した変動を反映する必要があり、したがって、潜在的エンドユーザーを示唆するより幅広い評価者コホートを用いることが推奨される。

Balsalobre-Fernandezら(4)は、2名の評価者間でほぼ完璧な一致を示す、優れたレベルの相対的評価者間信頼性(ICC＝0.99)を報告した。注目すべきは、両評価者は完全に研究デザインから独立していたことであり、したがって、My Jumpアプリケーションの使用において平均するとわずか1mmの差を報告する研究者に比べ、あまりこのアプリケーションに習熟していなかった可能性が高い。Drillerら(10)もまた、同じビデオ映像を評価する評価者間にきわめてわずかな差(標準誤差1.4cm)が認められたことを明らかにした。本節の結果から、スマートフォンのビデオ技術は跳躍高を測定するために、多数のユーザーが信頼して利用できると思われる。

著者らが採用した研究法の主要な限界は、反復テストの機会に対する時系列的な信頼性が測定されなかったことである。ただ1つの研究グループだけが2回のテスト機会に関する相対的安定性を測定し(12)、高い正の、また非常に高い正の相関関係(r＝0.76～0.93)を2回のテストセッション間で報告した。これらのセッションは、48時間の間隔をあけて、カウンタームーブメントジャンプ、スクワットジャンプおよび40cmのドロップジャンプの跳躍高をそれぞれ男女混合集団で測定した。研究者はあらゆる生物学的誤差を減らすための配慮を行ない、1日の同じ時間に、同じスポーツウェアを着用し、同じサーフェス上でジャンプし、同じ検者によってテストを実施した。また被験者も、セッション間では激しい身体トレーニングは控えるように指示された。しかし、被験者の経歴(上級レベルの陸上競技選手)により、トレーニングを完全に止めたことはありそうもない。そして3回目のテストが実施されなかったということは、系統的誤差に関するいかなる傾向の決定も明らかにならなかったことを意味する。同様に、ICCではなく、ピアソンの積率相関係数が使用されたことも興味深い。前述の統計はサンプルサイズが小さいために(15名以下)真の相関関係を過大評価しているのに対し、ICCは少ないサンプル数でもこのバイアスを生じないからである(18)。ジャンプパフォーマンスの評価にスマートフォンビデオを用いた測定において、相対的な試験・再試験信頼性を解明するためには、適切な統計手法を用いた今後の調査が必要であることは疑いない。

パワー

パワーは素早く力を発揮するアスリートの能力に関連がある(24)。20cmと40cmの両ドロップジャンプ中にMy Jumpを用いて得られた平均パワーとフォースプレートから得た基準値とを比較すると、中程度の相関関係だけが観察された(r＝0.571～0.655)(16)。フォースプレートから直接パワーを測定するのではなく、跳躍高から平均パワーを計算する際の誤差を考えると、この結果は予想外ではない(15)。また同じ研究は、ジャンプパフォーマンス中の平均パワーに関しても、セッション内の相対的整合性が中程度であることを示した(ICC＝0.507～0.568)。この研究において、平均パワーは体重、跳躍高、垂直方向の蹴り出し距離(想定されるカウンタームーブメントの深さの測定から予め決定された距離)から計算された(27)。フォースプレート上で直接測定した値から得られる平均パワーとMy Jumpアプリケーションから間接的に計算された測定値の間の変動は、ジャンプ方法の変動または有効体重の不正確な計測によるものに違いない。被験者の体重は試技の間に変化せず、また滞空時間はきわめて信頼性が高いことが明らかになっている。したがって、垂直方向の蹴り出し距離と有効体重の変動はどちらもジャンプ方法によるものであり、平均パワーの結果に影響を及ぼすはずである。したがって、ドロップジャンプ実施中の平均パワーをMy Jumpアプリケーションを用いて報告する際には、注意が必要である。

反応筋力

RSIは最短時間の素早い伸張性活動に続いて直ちに最大短縮性筋力を発揮するアスリートの能力を表すが、通常、跳躍高とドロップジャンプ中の接地時間の割合を使って表される(24)。ドロップジャンプのバリエーションでは、着地中の素早い伸張性負荷の直後に爆発的な短縮性の跳躍が行なわれるため、専門職はこれらの特質を評価することができる。そのため、接地時間とそれに続く滞空時間の両方が測定される。

My Jumpとフォースプレートを使用した場合、20 cmと40 cmのドロップジャンプの接地時間に関しても(r=0.96～0.98)、また求められたRSIに関しても(r=0.938～0.969)、非常に高い正の相関関係が認められた(16)。またRSI(ICC=0.954～0.983)および接地時間(ICC=0.920～0.986)において、優れたセッション内信頼性も示された(16)。テストは行なわれなかったが、30 cmのドロップジャンプに関しても、接地時間とRSIに関しては、おそらく同様の妥当性と信頼性レベルが想定できるだろう(28)。これは、より遅いSSC運動だけでなく、ドロップジャンプのような高速のSSC運動でも、接地時間やRSIがMy Jumpアプリケーションを用いて正確に測定できるという事実を意味する。どちらも時間に基づく測定値なので、この結果は当然理解できる。

考察

この簡潔なレビューの目的は、スマートフォンのビデオ技術、具体的にはMy Jumpというアプリケーションを利用して測定されたジャンプパフォーマンスの特定の測定値に関して、その信頼性と妥当性のレベルを明らかにし、現場における応用と限界を見極めることであった。My Jumpのような統合アプリケーションを用いれば、スマートフォンに搭載された高速ビデオ技術を利用できる。これにより、垂直跳びの測定をより容易に行なえるようになり、フィールドでアスリートのパフォーマンスを評価しモニタリングする、きわめて実用的な方法が提供される。

合計185名の被験者(男性117名：63%、女性68名：37%)が本レビュー対象の6件の研究に含まれていた。その平均年齢は22.5±5.4歳、体重は74±13 kg、身長は1.76±0.6 mであった。6件のうちの5件の研究は「レクリエーションレベルの活動的な」被験者が含まれるが、1件の研究だけは、一流ないし準一流のアスリート(n=21、男性14名、女性7名)であると説明した(12)。高度なトレーニングを行なっていない被験者(全被験者の88.6%)は、日常的にジャンプトレーニングを行なうことはないと想定され、したがって、このようなテストにおける彼らの運動習熟度は疑わしいと思われる。その結果、ジャンプに習熟する可能性、疲労、学習効果、解剖学的差異、1日の実施時間および被験者のトレーニングレベルの効果により、セッション内の生物学的変動およびセッション間の系統的誤差がより大きくなった可能性がある。

レビューを行なった6件すべての研究が、垂直方向のジャンプパフォーマンスを測定した。最近リリースされたMy Jumpでは両脚での水平方向の跳躍距離の測定が含まれているが、その妥当性や信頼性のレベルを裏づける研究は今のところ存在しない。スマートフォンビデオ技術の利用がさらに進めば、複数回のホップなど、水平方向の一側性試験における反応筋力にも洞察を提供することができると思われる。このような評価では、接地時間や滞空時間の測定の正確性や整合性を決定するためには、先行研究で検証されたものよりも長い距離(デバイスから約1～2 m)での信頼性と妥当性の判定が必要だろう。

スマートフォンのビデオ技術の向上

商業市場におけるスマートフォンのビデオ技術の向上と進化の結果生じる疑問は、より高いフレーム率と解像度により、ジャンプの変数の信頼性や妥当性のレベルが向上するかということである。Balsalobre-Fernandezら(4)は、わずか120 fpsのビデオ画像を撮影するiPhone 5sのようなスマートフォンは、離地または着地のフレームを逃す可能性があり、より長い滞空時間による測定値の誤差が生じ、跳躍高の数式が滞空時間を二乗するため、誤差が増幅される可能性があることを示唆した。著者らは、将来のテクノロジーの向上が妥当性の向上を意味する可能性を示唆した。しかし、iPhone 6とiPhone 6sの発売以来、有効性にも信頼性にも有意差は認められていない。それらは240 fps、720 pで画像を記録していて、一致レベルは高い(12)。2016年9月のiPhone 7の発売以来、最近のiPhone Xの発売までに、解像度が1080 pまでさらに向上したことにより、重要なタイミング事象の検出率がさらに高まり、バイアス事象はさらに減少する可能性がある。アンドロイド版のMy Jumpのリリースは、Sony Xperiaのようなデバイスの可能性をさらに高め、1080 p、960 fpsでスローモーションビデオを撮影する能力がある。さらに、スマートフォンによる動作や運動を認識するソフトウェアの進歩は、これらの実用的な端末のフィールド環境でのさらなる利用機会を提供すると思われる。

限界

バイオメカニクス的評価を行なうアプリケーションと一体化されたスマートフォンのビデオ技術は、様々なジャンプテストと幅広い集団に関して、有望なレベルの信頼性と妥当性を示した。**表2**では、様々なジャンプの評価を現場で用いる際のスマートフォンの

仕様、ジャンプの変数およびそれらに伴う妥当性と信頼性を明示し、併せて、いくつかの方法論的な限界や使用上の注意を記載した。懸念される主要な制限は、このテクノロジーの試験・再試験信頼性を報告した研究者が存在しないことである。セッション内の信頼性の価値は限定的であり、このテクノロジーによる複数のテストセッションの変動を理解することは、一層重要だからである。したがって、今後の研究では、長期間にわたりジャンプパフォーマンスを定量化する際のスマートフォン技術の安定性を決定することが必要である。セッション内の信頼性は、測定の信頼性をある程度担保するが、その有用性はむしろ限られている。大部分の事例で、研究者や専門職は、例えば、数週間から数ヵ月にわたってデバイスやテストプロトコルを繰り返し利用することに関心があるからである。

表2　My Jumpの現場への応用：ジャンプの評価、ジャンプの変数、技術的仕様、注意

	変数	テクノロジー	妥当性	信頼性	注意
カウンタームーブメントジャンプ	跳躍高	iPhone 5s 120 fps 720 p	非常に高い(4)	セッション内(被験者)—良(4) セッション内(デバイス)—優(4) 内的整合性(被験者)—優(4) 評価者間—優(4)	女性集団の変動性が増大(12)
		iPhone 6 240 fps 720 p	非常に高い(8,12)	セッション内(被験者)—優(12) セッション間—良～優(12) セッション内(デバイス)—優(8,12) 内的整合性—優(12) セッション間—高い～非常に高い(12)	有意な系統的バイアス(過大評価)My Jumpとフォースプラットフォームからの離地速度法の間で0.78% 試験−再試験の信頼性はわずか2回の測定機会に関してのみ
		iPhone 6 s 240 fps 720 p	非常に高い(10,28)	セッション内(デバイス)—優(10,28) 評価者間—優(28)	高い高さでの My Jump の過大評価 低い高さでのMy Jump の過小評価
	滞空時間	iPhone 6 s 240 fps 720 p	非常に高い(10)	確認されず	
スクワットジャンプ	跳躍高	iPhone 6 240 fps 720p	非常に高い(12)	内的整合性—優(12) セッション内(デバイス)—優(12) セッション間—高い～非常に高い(12)	
20 cmドロップジャンプ	跳躍高	iPhone 6 240 fps 720 p	高い(12)	セッション内(被験者)—良(16) セッション内(デバイス)—優(16)	
	反応筋力指数	iPhone 6 240 fps 720 p	非常に高い(16)	セッション内(デバイス)—優(16)	
	接地時間	iPhone 6 240 fps 720 p	非常に高い(16)	セッション内(デバイス)—優(16)	
	平均パワー	iPhone 6 240 fps 720 p	中等度(16)	セッション内(デバイス)—中等度(16)	セッション内信頼性に注意
30 cmドロップジャンプ	跳躍高	iPhone 6 s 240 fps 720 p	非常に高い(28)	セッション内(デバイス)—優(28) 評価者間—優(28)	My Jumpのすべてのスコアを通して過小評価
40 cmドロップジャンプ	跳躍高	iPhone 6 240 fps 720 p	非常に高い(12,16)	セッション内(被験者)ー中等度(16) 内的整合性—優(12) セッション内(デバイス)ー優(12,16) セッション間—高い(12)	
	反応筋力指数	iPhone 6 240 fps 720 p	非常に高い(16)	セッション内(デバイス)ー優(16)	
	接地時間	iPhone 6 240 fps 720 p	非常に高い(16)	セッション内(デバイス)ー優(16)	
	平均パワー	iPhone 6 240 fps 720 p	中等度(16)	セッション内(デバイス)ー中等度(16)	セッション内信頼性に注意

レビューを行なった論文で報告されたセッション内信頼性は、このテクノロジーの長期間の安定性についてはいかなる洞察も与えない。そのことが、これらの著者がとった研究方法の主な限界である。セッション間／試験-再試験の研究デザインがセッション内分析と揃って採用されたなら、これらのセッション内信頼性の限界が軽減された可能性がある。しかし、そのような方法で2回のテスト機会に関する測定を行なったのはわずか1つの研究グループだけであり(12)、研究者らは絶対的整合性を示すいかなる測定値も報告しなかった。この研究の限界は、データセットにおいて系統的誤差を決定するためには2回を超えるテストセッションが必要だったことである。例えば、2回のテスト時の平均が上昇した場合、引き続きさらに上昇するのか、それとも停滞するのかは、3回目のテストの機会がなければ理解することは難しい。スマートフォンによる跳躍高の測定の安定性を本当に理解するためには、複数のテスト機会全体にわたる絶対的整合性を定量化するためのさらなる研究が確かに必要である。

重要な留意点と現場への応用

ジャンプの診断のためのスマートフォンアプリケーションの妥当性と信頼性に関する研究は明らかに不足している。そのため、My Jumpアプリケーションだけが長期間強調されてきた。前述のように、S&C専門職が、自分が指導しているアスリートの身体プロフィールとモニタリングにどのようなジャンプの診断が適しているかを決める際、その測定方法が良好なレベルの妥当性と信頼性を有することがきわめて重要である。My Jumpアプリケーションは、フィールドで行なう評価の実用的な測定法としても、跳躍高、滞空時間、接地時間およびRSIなどの重要な変数を通して、非常に高いレベルの測定値を得ることができる、実用的な手段であることが明らかになっている。このアプリケーションはコートでも、ウェイトルームでも、フィールド上でも、利用がきわめて簡単である。プロトコルに従っているかぎり、どのiPhoneモデルを使用するか、または誰が使用するかは重要ではない。

My Jumpを利用したドロップジャンプパフォーマンスの測定は、注意を要する評価法である。カウンタームーブメントジャンプやスクワットジャンプと比べ、跳躍高の一貫性が劣るからである。これはドロップジャンプに関連する生物学的変動による可能性がきわめて高い。ドロップジャンプは、テストに習熟していない可能性のある運動科学専攻の学生の被験者集団にとって、技術的にも身体的にも要求の高いジャンプである(16)。

ドロップジャンプから計算された平均パワーの妥当性と信頼性も同様に疑わしく、そのような値として注意深く用いる必要がある。この低い一致性と安定性はおそらく計算方法によると思われ、ジャンプ方法の様々なバリエーションが計算に影響を及ぼす可能性もある。様々な強度のドロップジャンプに習熟した競技集団における平均パワーの利用法を決定するためには、さらに研究が必要である。

しかし、活動的な学生集団から高度なトレーニングを積んだ国際レベルの陸上競技選手まで、様々な被験者を対象に、My JumpとMy Jump 2アプリケーションをジャンプパフォーマンスの評価に利用することを支持する、きわめて強力なエビデンスが存在することは明らかであり、これを指摘することは重要である。被験者とエンドユーザーの集団は、この技術の潜在的な利用者を確実に反映しているからである。◆

References

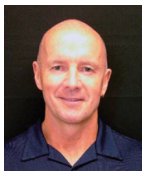
1. Aoki K, Kohmura Y, Sakuma K, Koshikawa K, Naito H. Relationships between field tests of power and athletic performance in track and field athletes specializing in power events. *Int J Sports Sci Coach* 10: 133–144, 2015.
2. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med* 26: 217–238, 1998.
3. Baker DG, Newton RU. Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 22: 153–158, 2008.
4. Balsalobre-Fernandez C, Glaister M, Lockey RA. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *J Sports Sci* 33: 1574–1579,
5. Belyea BC, Lewis E, Gabor Z, Jackson J, King DL. Validity and intrarater reliability of 2-dimensional motion analysis using a handheld tablet compared with traditional 3-dimensional motion analysis. *J Sport Rehabil* 24: pii: 2014-0194, 2015.
6. Berthoin S, Dupont G, Mary P, Gerbeaux M. Predicting sprint kinematic parameters from anaerobic field tests in physical education students. *J Strength Cond Res* 15: 75–80, 2001.
7. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50: 273–282, 1983.
8. Carlos-Vivas J, Martin-Martinez JP, Hernandez-Mocholi MA, Perez-Gomez J. Validation of the iPhone app using the force platform to estimate vertical jump height. *J Sports Med Phys Fitness* 58: 227–232, 2018.
9. Cesar GM, Edwards HT, Hasenkamp RM, Burnfield JM. Prediction of athletic performance of male and female athletes measured by triple hop for distance. *Trends Sport Sci* 24: 19–25, 2017.
10. Driller M, Tavares F, McMaster D, O'Donnell S. Assessing a smartphone application to measure counter-movement jumps in recreational athletes. *Int J Sports Sci Coach* 12: 661–664, 2017.
11. Fiol CF, Cortadellas J, Arteaga R, Calbet J. Prediction of vertical jump height: Importance of mechanical impulse and muscle mass of the lower extremities. *Eur J Hum Mov* 7-22, 2003.
12. Gallardo-Fuentes F, Gallardo-Fuentes J, Ramírez-Campillo R, Balsalobre-Fernández C, Martínez C, Caniuqueo A, Cañas R,

Banzer W, Loturco I, Nakamura F. Inter and intra-session reliability and validity of the My Jump app for measuring different jump actions in trained male and female athletes. *J Strength Cond Res* 30: 2049–2056, 2016.
13. Habibi A, Shabani M, Rahimi E, Fatemi R, Najafi A, Analoei H, Hosseini M. Relationship between jump test results and acceleration phase of sprint performance in national and regional 100 m sprinters. *J Hum Kinet* 23: 29–35, 2010.
14. Hanney WJ, Kolber MJ, Ramirez MM, Negrete R, Palmer K, Cheatham SW, Pabian P, Liu X. The reliability of measurements used to quantify frontal plane knee kinematics during a single-leg hop test: A video analysis. *J Orthop Sports Phys Ther* 47: A98, 2017.
15. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM, Kraemer WJ. Estimation of human power output from vertical jump. *J Strength Cond Res* 5: 116–120, 1991.
16. Haynes T, Bishop C, Antrobus M, Brazier J. The validity and reliability of the my jump 2 app for measuring the reactive strength index and drop jump performance. *J Sports Med Phys Fitness* 59: 253–258, 2019.
17. Holm DJ, Stålbom M, Keogh JW, Cronin J. Relationship between the kinetics and kinematics of a unilateral horizontal drop jump to sprint performance. *J Strength Cond Res* 22: 1589–1596, 2008.
18. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30: 1–15, 2000.
19. Hopkins WG. A Socratic dialogue on comparison of measures. *Sportscience* 14: 15–21, 2010.
20. Kale M, Aşçi A, Bayrak C, Açikada C. Relationships among jumping performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. *J Strength Cond Res* 23: 2272–2279, 2009.
21. Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med* 15: 155–163, 2016.
22. Lockie RG, Callaghan SJ, Berry SP, Cooke ER, Jordan CA, Luczo TM, Jeffriess MD. Relationship between unilateral jumping ability and asymmetry on multidirectional speed in team-sport athletes. *J Strength Cond Res* 28: 3557–3566, 2014.
23. Mani K, Brechue WF, Friesenbichler B, Maffiuletti NA. Validity and reliability of a novel instrumented one-legged hop test in patients with knee injuries. *Knee* 24: 237–242, 2017.
24. McGuigan MRPCD, Cormack SJP, Gill NDP. Strength and power profiling of athletes: Selecting tests and how to use the information for program design. *Strength Cond J* 35: 7–14, 2013.
25. McMaster DT, Gill N, Cronin J, McGuigan M. A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Med* 44: 603–623, 2014.
26. Peterson RA. A meta-analysis of Cronbach's coefficient alpha. *J Consum Res* 21: 381–391, 1994.
27. Samozino P, Morin JB, Hintzy F, Belli A. A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech* 41: 2940–2945, 2008.
28. Stanton R, Wintour SA, Kean CO. Validity and intra-rater reliability of MyJump app on iPhone 6s in jump performance. *J Sci Med Sport* 20: 518–523, 2017.
29. Verrelst R, Van Tiggelen D, De Ridder R, Witvrouw E. Kinematic chain-related risk factors in the development of lower extremity injuries in women: A prospective study. *Scand J Med Sci Sports* 28: 696–703, 2018.
30. Vittori C. Monitoring the training of the sprinter. *New Stud Athlet* 10: 39–44, 1995.
31. Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res* 19: 231, 2005.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 41, Number 5, pages 96-107.

著者紹介

Anthony P. Sharp：
現　在New Zealand Cricketチームの身体パフォーマンスマネジャーを務め、Auckland University of Technologyのニュージーランドスポーツパフォーマンス研究所（SPRINZ）の博士号取得候補者でもある。



John B. Cronin：
Auckland University of Technologyのニュージーランドスポーツパフォーマンス研究所（SPRINZ）でストレングス＆コンディショニングの教授を務める。

Jonathon Neville：
Auckland University of Technologyのコンピュータ工学・数学学部に所属し、ニュージーランドスポーツパフォーマンス研究所（SPRINZ）の上級研究員である。