

Single Leg Hop for Distance における見積もり値と着地可否の関係： 健常成人での検討

The Relationship between Self-estimated Value and Landing Error in Single Leg Hop for Distance: A Study in Healthy Adults

島本大輔*¹, 上池浩一*¹, 大西慎太郎*²
諸岡孝俊*², 吉矢晋一*²

キー・ワード：Single leg hop for distance, Landing error, Estimate value
Single leg hop for distance, 着地可否, 見積もり値

〔要旨〕 (目的) Single leg hop for distance (SHD) はスポーツ外傷後の機能回復指標として用いられているが、認知神経学的な検討はなされていない。そこで、本研究の目的を自己評価による SHD の見積もり値とパフォーマンスの指標となる着地可否との関係を明らかにすることとした。(方法) 健常成人 63 名 (男性 35 名, 女性 28 名, 年齢 28.8 ± 5.8 歳) を対象とした。SHD の実跳前に安定した着地が可能と被験者が想定する最大距離 (見積もり値 (%)) = 見積もり距離 / 身長) を測定した。その後を実跳を行わせ、着地の可否によって 2 群に分類した。統計学的分析は、2 群間比較にマンホイットニー U 検定、着地可否の関連要因の抽出にロジスティック回帰分析、カットオフ値算出に ROC 解析を用い、有意水準は 5% とした。(結果) 着地不可群は、着地可能群と比較して見積もり値が有意に大きかった (74.4 ± 16.8 vs 102.8 ± 19.0 , $p < 0.05$)。着地可否の関連要因として見積もり値が抽出され (オッズ比 1.09, 95% 信頼区間 1.04-1.14, $p < 0.05$)、カットオフ値は 87.1% (特異度 0.77, 感度 0.90, 曲線下面積: 0.86, 95% 信頼区間: 0.77-0.96) となった。(考察) 見積もり値は着地に影響し、見積もり値が身長比 87.1% 以上となると、実際の動作との乖離が生じることが示唆された。

緒言

スポーツ外傷・障害後には筋力や関節可動域に加え運動機能の評価を行い、それらすべての十分な回復が競技復帰の条件になる。代表的なスポーツ外傷である前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament: 以下, ACL) 損傷を持つアスリートの競技復帰における運動機能の評価において、hop test は特別な道具や検者の特殊技術を必要とせず、簡便かつ短時間で測定できる方法として広く用いら

れている¹⁾。そのなかで single leg hop for distance (以下, SHD) は代表的なテストであり、国際的な膝機能評価基準 (International Knee Documentation Committee の Knee Evaluation Form) でも評価項目として採用されている^{2,3)}。この SHD の評価基準としては、従来、安定した着地のできる最大距離の健患比が用いられ、Vereijken ら⁴⁾ は ACL 損傷患者の患側と健側の比率である健患比で評価する方法では健患比 90% 以上がスポーツ復帰に必要な機能回復指標の基準値であると報告している。近年は、跳躍距離を身長で除した値である身長比で評価する方法も報告され、競技復帰に必要な機能回復指標として身長比で 70% 以上が基準値となっている⁵⁾。

*1 西宮回生病院リハビリテーション部

*2 西宮回生病院整形外科

Corresponding author: 吉矢晋一 (yoshiya0307@gmail.com)

一方で、SHDの結果が健患差90%以上を満たしても着地時のバイオメカニクスは正常化しておらず、従来からの評価のみでは不十分という指摘もある。Lopesら⁶⁾はACL損傷予防のトレーニングを行った後でも、着地時の最大膝屈曲角度や床反力垂直成分には変化がなく、衝撃吸収機能が十分に回復していないことを報告した。これまでの関連研究に対してメタ解析を行った結果、SHDの跳躍距離が基準値を満たしていても、着地時の正常なバイオメカニクスが再獲得されておらず、距離指標だけでは機能回復評価として十分ではないと指摘している⁷⁻⁹⁾。

SHDに対する多面的な評価という点で、筆者らは着地時のバイオメカニクスに加え、自己の運動能力の認識という側面からパフォーマンスの構成要素を再考することも、その妥当性を向上させる糸口になるのではないかと考えた。これはパフォーマンステストを実施する直前からその結果に影響を及ぼす機能が被験者の身体内部で働いており、対象者が自己の運動能力をどの程度認識できているかということが結果の解釈の上で重要であるという観点に基づくものである。つまりSHDの跳躍距離が健患比90%以上、身長比70%以上の基準値を満たしていても、自己評価による見積もりと実際の運動能力との誤差が大きいものと小さいものがあり、SHDの結果の解釈においてはこの点に対する評価も併せて行う必要があるのではないかと考えている。

そこで本研究では、自己身体の運動能力の認識の正確性を評価することを目的として、まずは健康成人を対象に、自己評価によるSHDの予測値とSHDパフォーマンスの指標となる安定した着地の可否との関係を検討した。

対象および方法

1. 対象

対象は健康成人の男性35名(年齢 29.8 ± 5.9 歳(平均 \pm 標準偏差)), 女性28名(年齢 27.7 ± 5.5 歳(平均 \pm 標準偏差))の合計63名とした。包含基準はTegner activity score4.5とした。除外基準は神経筋骨格系に既往歴・疾患を有する者とした。調査する下肢は全て右下肢とした。なお、本研究は西宮回生病院倫理委員会の承認を得て実施し(承認番号:第56号), 対象者には研究の趣旨を説明し同意を得た。

2. 調査項目

対象の性別、年齢、身長、体重、膝屈曲筋力と膝伸展筋力、SHDの安定した着地地点の予測距離と安定した着地が可能であったかどうかの可否を調査した。

膝屈曲・伸展筋力はハンドヘルドダイナモメーター(μ TAS F-1, アニマ社製)を用い、膝関節屈曲90°での等尺性筋力を測定した(図1)。測定方法は運動方向が理解できるまで練習を繰り返した後に実測を開始した。測定肢位は、腕組み位での下垂座位とし、3回の測定値の最大値を選択した。また、回数毎に1分間の休息を設けた。各運動方向の1回の収縮時間は5秒間に設定した。得られた値を体重で除して単位を%で表したものを膝屈曲筋力および膝伸展筋力とした。

SHDの安定した着地の定義として、①挙上脚を床と接触させない、②腕組み位を解かない、③着地後5秒間の静止、④着地後に支持脚を動かさないこととし、見積もり値計測の前に対象に伝えて安定した着地地点を予測させた。対象の運動経験と動作選択に影響を及ぼす可能性を考慮し、その他の動作規定は設けなかった。

SHDの予測距離の測定は、先行研究¹⁰⁻¹²⁾の「見積もり値の計測」を参考にした。見積もり値計測に際しては、被験者は両脚立位保持とし、検者が40cm四方の板を持って、板面を対象に向け、かつ床に板の縁を這わせながら、秒速30cmで移動させた。そして、安定した着地ができると想定した距離に板が達した時点で挙手および口頭にて被験者に合図をさせて、測定側足部先端から板までの距離を計測した。この値を身長で除して単位を%で表したものを見積もり値と定義した。検者が板を動かす速度は被験者8名を対象に見積もり値計測の予備実験を行った結果、8名の被験者全員の意見から秒速30cmが見積もり値を決定しやすい速度であると確認できたため、秒速30cmでの移動速度とした。この見積もり値の計測における再現性を評価するために、1名の検者における検者内、および3名の検者による検者間の級内相関係数を算出した。その結果、級内相関係数は検者内:0.88(95%信頼区間:0.56-0.98)、検者間:0.84(95%信頼区間:0.57-0.96)であり、高い再現性が確認できた。したがって本研究においては1名の検者の見積もり値を採用し、検討対象とした。

SHDの着地が安定して可能であったかどうか

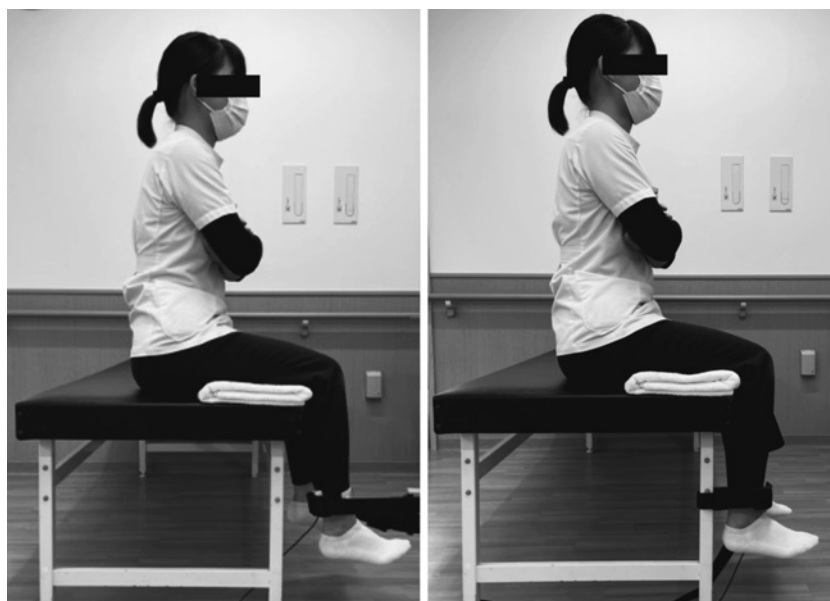


図1 膝屈曲・伸展筋力測定の方法

それぞれ測定肢位は下垂座位で膝関節屈曲90°位とした。センサーパッドの位置は下腿遠位端として、下腿長軸に直交させて等尺性筋力を測定した。得られた値を体重で除し、体重に対する割合を算出した(%)。

は実際の跳躍を右脚で1回行わせて調査した。SHDの実跳の開始肢位は、腕組み片脚立位とし、支持脚のみで跳躍・着地させた。その間、腕組み位を解くことなく挙上脚を床と接触させないようにさせ、着地の際には、支持脚を動かさずに5秒間静止することを条件とした。跳躍距離の測定は、着地不可群の着地点の同定が困難であったことから、両群とも実跳距離は計測せず、安定して着地できた群を着地可能群、安定して着地できなかった群を着地不可群に分類した。Broskyら¹³⁾によると、SHDの方法は、事前練習後に2回の実測を行い、最大値を実跳距離として採用する方法が高い信頼性が報告されているが、今回の計測はあくまでも見積もり値計測であり、見積もり値計測と実際の跳躍は先行研究¹⁴⁾の「予測誤差の更新」を考慮して事前練習は行わなかった。

統計学的分析は、着地可能群と着地不可群の性別比較はフィッシャーの正確確率検定を用い、年齢、身長、体重、膝屈曲筋力、膝伸展筋力、見積もり値の群間比較には、事前にシャピロウィルク検定で2群の正規性を確認し、正規分布に従わない場合はマンホイットニーU検定を適用し、正規分布に従う場合はF検定で等分散性を確認した後、2標本t検定を適用した。さらに、ロジスティック回帰分析により着地可否の関連要因の抽

出、ROC解析により見積もり値のカットオフ値を算出した。先行研究でのデータが無いことから必要サンプルサイズが算出できず、代わりに事後検定として見積もり値の検出力をG*Power 3.1にて算出した。統計ソフトはR version 3.6.0を使用し、有意水準は5%とした。

結果

両群の内訳を表1に示す。両群間の比較では、見積もり値は着地不可群が着地可能群と比較して有意に大きかったが、膝屈曲・伸展筋力には両群間に差はみられなかった。着地可否に影響を及ぼす因子に関するロジスティック回帰分析では、見積もり値が有意な因子として抽出された(表2)。ROC解析による着地可否予測に関する見積もり値のカットオフ値は87.1%(特異度0.77,感度0.90,曲線下面積:0.86,95%信頼区間:0.77-0.96)であった(図2)。事後統計として、見積もり値の効果量1.62, α -Error0.05でn1=44, n2=19で検出力を計算した(G*Power 3.1)。結果、Power $(1 - \beta\text{-Error}) = 0.99$ と算出された。

考察

本研究では、健常成人を対象にSHDの見積もり値と着地可否の関係について検討した。その結

表 1 2群の内訳と群間比較の結果

	着地可能群 (n=44)	着地不可群 (n=19)	効果量 (d)	p 値
性別 (男性数)	21	14		0.096 (F)
年齢 (歳)	28.3±5.6	30.1±6.2	0.31	0.121 (M)
身長 (cm)	165.2±8.4	169.0±5.7	0.49	0.080 (T)
体重 (kg)	61.1±11.0	67.4±10.4	0.58	0.032* (M)
BMI	22.2±2.5	23.5±2.7	0.51	0.072 (M)
見積もり値 (%)	74.4±16.8	102.8±19.0	1.62	<0.001* (T)
膝屈曲筋力 (%)	36.6±6.9	36.0±6.3	0.09	0.744 (T)
膝伸展筋力 (%)	67.5±16.9	67.9±16.4	0.02	0.943 (T)

※：有意差あり

(F)：フィッシャーの正確確率検定

(M)：マンホイットニー U 検定

(T)：2 標本 t 検定

表 2 ロジスティック回帰分析の結果

	オッズ比	95% 信頼区間 (下限)	95% 信頼区間 (上限)	p 値	vif
年齢	1.03	0.88	1.21	0.704	1.04
BMI	1.19	0.93	1.53	0.167	1.10
見積もり値	1.09	1.04	1.14	<0.001*	1.04
膝屈曲筋力	0.99	0.88	1.11	0.871	1.10
膝伸展筋力	0.98	0.94	1.02	0.331	1.17

※：有意差あり

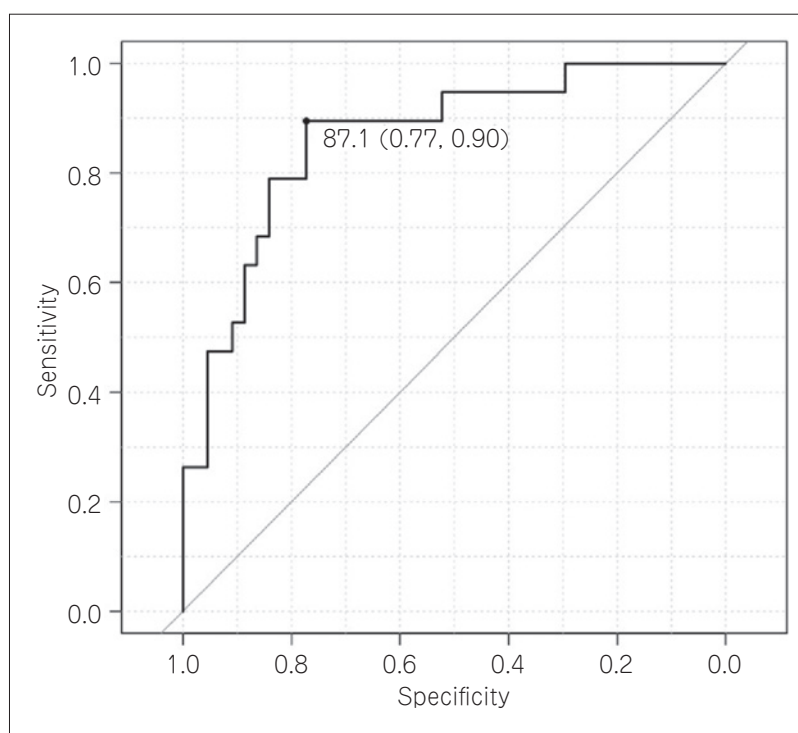


図 2 ROC 解析の結果

ROC 曲線の見積もり比のカットオフ値は 87.1% となった (特異度：0.77, 感度：0.90, 曲線下面積：0.86, 95% 信頼区間：0.77-0.96).

果、着地不可群では有意に見積もり値が大きく、また、着地可否の関連因子として、見積もり値が抽出された。さらに着地可否における見積もり値のカットオフ値は身長比で87.1%と算出された。これらの結果から、健常成人のSHDにおいて見積もり値が87.1%以上となると、実際の動作との乖離が生じることが示唆された。

Morioka¹⁰⁾らは見積もり値と実際の動作との乖離は、ボディースキーマが適切に修正されていないことや運動イメージの誤差であると述べており、SHDにおいて安定した着地ができなかった例では、自己の見積もり値と実際の運動能力との間に乖離があった可能性が考えられる。

SHD結果に影響を与える因子として、まず筋力の問題があり、Wilkら¹⁵⁾は着地可能な最大跳躍距離と膝伸展筋力との関連を検討し、正の相関関係にあることを報告している。次に、着地時の衝撃吸収能力もSHD結果に影響を与える因子となる。SHDの着地時のバイオメカニクスに関する検討について、Kotsifakiら⁹⁾は足関節・膝関節・股関節を深く屈曲させ、衝撃吸収能力が必要になることを報告している。自己の最大跳躍距離を正確に見積もったとしても、衝撃を吸収して着地をするためには、下肢の衝撃吸収能力がなければ着地ができない可能性がある。そのため、着地不可群では自己の衝撃吸収能力が正確に捉えられていなかった可能性が考えられる。

Gibson¹⁶⁾は、人は運動課題に直面した際、自己のボディースキーマを手がかりに無意識に環境との適合を図り、自己の運動能力で課題が達成できる範囲を見積もっていると報告している。SHDでの着地不可群においては、自己の膝伸展筋力や衝撃吸収能力を正確に捉えられず、その結果、最大跳躍距離の適切な予測ができなかった可能性が考えられる。

パフォーマンスと見積もり値について、乾¹⁴⁾は、運動制御では、不確実性を最小化するように予測を行い、さらに感覚情報から予測誤差を修正・更新すると述べている。この予測誤差について、先行研究では、予測を「見積もり」として、「予測を定量化した数値」を「見積もり値」、予測と実際の運動の誤差を「見積もり誤差」と定義して報告されたものが多い¹⁰⁻¹²⁾。しかし、そのほとんどの報告が脳卒中患者¹⁰⁾や高齢者¹²⁾を対象としており、スポーツ医学分野における「見積もり」に関する報

告は我々が涉猟し得た範囲では見当たらない。見積もり値と実際の動作との乖離について、先行研究¹⁰⁾では、脳卒中片麻痺患者は健常高齢者と比較して、麻痺側・非麻痺側ともに自己の運動能力を過大評価し、パフォーマンステストで実際の運動と見積もり値が乖離している群が存在することを報告している。また、白木ら¹²⁾は、健常高齢者は施設入所高齢者と比較して見積もり誤差が大きく、過大評価になりやすいことを報告し、その理由に、自分はできると過信するような経験から形成される自己効力感や、転倒経験から安定性を重視する思考・行動変容が見積もり値に影響することを報告している。さらに、見積もり値と実際の運動の乖離は、高齢者だけでなく、健常若年成人でも生じることが報告されており¹¹⁾、本研究の結果においても、着地不可群は自分はできると過信していた可能性や自己効力感などが影響した可能性が考えられた。

小笠原¹⁷⁾はACL損傷の全身的なメカニズムの解明とともに、意思決定や動作決定、環境要因などのリスク要因についても解明されることがACL損傷予防や再受傷・対側損傷予防の観点からも重要であると報告していることから、今後の展望として、測定方法を再考し、ACLR患者に対する検討を進める必要がある。自身の身体機能を客観的に捉え、SHDの見積もり値と実際の跳躍および制御能力が一致することは、外傷・障害のリスクとなる運動を避けることに繋がると言える。特に高い見積もり値を有し、着地ができない症例に対しては身体機能のみならず、ボディースキーマやボディーイメージなどの身体認知の学習も含めた多面的なりハビリテーションアプローチが必要になることを示していると考えられる。

本研究の限界として、SHDの着地可否と見積もり値の乖離についての検討であり、脳卒中¹⁰⁾や、高齢者¹²⁾、健常成人¹¹⁾での報告にある見積もり値と実際の距離との差である見積もり誤差については未検討であった。今後は見積もり誤差の計測が必須であり、その計測方法の検証が必要である。

結 語

本研究は健常成人を対象にSHDの安定した着地地点の予測値と実際の跳躍で安定した着地ができたかどうかを調査し、着地可否と自己身体の運動能力の認識の関係を明らかにした。本研究結果

として、SHDの見積もり値は着地に影響し、健常成人においては見積もり値が身長比87.1%以上となると、実際の動作との乖離が生じることが示唆された。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

島本大輔：概念化，データ管理，正式な分析，調査，方法論，プロジェクト管理，草稿の執筆，原稿の見直しとエディティング。

上池浩一：指導，原稿の見直しとエディティング。

大西慎太郎：指導，原稿の見直しとエディティング。

諸岡孝俊：指導，原稿の見直しとエディティング。

吉矢晋一：指導，原稿の見直しとエディティング。

文 献

- 1) Fitzgerald GK, Lephart SM, Hwang JH, et al. Hop tests as predictors of dynamic knee stability. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2001; 31: 588-597.
- 2) Abrams GD, Harris JD, Gupta AK, et al. Functional performance testing after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2014; 21: 2325967113518305.
- 3) Hefti F, Müller W, Jakob RP, et al. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*. 1993; 1: 226-234 doi: 10.1007/BF01560215.
- 4) Vereijken A, Trijffel EV, Aerts I, et al. The Non-injured Leg Can Be Used as a Reference for the Injured Leg in Single-legged Hop Tests. *The International Journal of Sports Physical Therapy*. 2021; 16: 1052-1066 doi: 10.26603/001c.25758.
- 5) Ohji S, Aizawa J, Hirohata K, et al. Single-leg hop distance normalized to body height is associated with the return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Experimental Orthopaedics*. 2021; 8 doi: 10.1186/s40634-021-00344-z.
- 6) Lopes TJA, Simic M, Myer GD, et al. The effects of injury prevention programs on the biomechanics of landing tasks: a systematic review with meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*. 2018; 46: 1492-1499.
- 7) Kotsifaki A, Korakakis V, Whiteley R, et al. Measuring only hop distance during single leg hop testing is insufficient to detect deficits in knee function after ACL reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2020; 54: 139-153 doi: 10.1136/bjsports-2018-099918.
- 8) Wren TAL, Mueske NM, Brophy CH, et al. Hop Distance Symmetry Does Not Indicate Normal Landing Biomechanics in Adolescent Athletes With Recent Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2018; 48: 622-629 doi: 10.2519/jospt.2018.7817.
- 9) Kotsifaki A, Whiteley R, Rossom SV, et al. Single leg hop for distance symmetry masks lower limb biomechanics: time to discuss hop distance as decision criterion for return to sport after ACL reconstruction? *British Journal of Sports Medicine*. 2022; 56: 249-256 doi: 10.1136/bjsports-2020-103677.
- 10) Morioka S, Matsuo A. Reaching in Stroke with Hemiplegia: The Error between Estimated and Actual Distances in the Visual Field. *The Journal of Physical Therapy Science*. 2005; 17: 81-85 doi: doi.org/10.1589/jpts.17.81.
- 11) 平井達也. 健常成人における座位リーチ距離の見積りに対する目標物の有無の影響. *理学療法科学*. 2010; 25: 463-467.
- 12) 白木春菜, 平井達也. 施設入所高齢者における座位リーチ距離の見積もり誤差. *愛知県理学療法学会誌*. 2013; 25: 56-60.
- 13) Brosky JA Jr, Nitz AJ, Malone TR, et al. Intrarater reliability of selected clinical outcome measures following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedics & Sports Physical Therapy*. 1999; 29: 39-48.
- 14) 乾 敏郎. 知覚・認知・運動・感情・意思決定をつなぐ自由エネルギー原理. *日本神経回路学会誌*. 2018; 25: 123-134 doi: doi.org/10.3902/jnns.25.123.
- 15) Wilk KE, Romaniello WT, Soscia SM, et al. The relationship between subjects knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. *Journal of Orthopaedics & Sports Physical Therapy*. 1994; 20: 60-73.
- 16) Gibson JJ. The theory of affordances. In: Show RE,

Bransford J, eds. Perceiving, acting, and knowing:
Toward an ecological psychology. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates; 67-82, 1977.

床スポーツ医学会誌. 2019; 27: 357-359.

(受付：2023年1月17日，受理：2023年6月9日)

17) 小笠原一生. 前十字靭帯損傷のリスク因子. 日本臨

The Relationship between Self-estimated Value and Landing Error in Single Leg Hop for Distance: A Study in Healthy Adults

Shimamoto, D.^{*1}, Kamiike, K.^{*1}, Onishi, S.^{*2}
Morooka, T.^{*2}, Yoshiya, S.^{*2}

^{*1} Department of Rehabilitation, Nishinomiya Kaisei Hospital

^{*2} Department of Orthopaedic Surgery, Nishinomiya Kaisei Hospital

Key words: Single leg hop for distance, Landing error, Estimate value

[Abstract] The purpose of this study was to investigate the relationship between self-estimated values and landing errors in the single leg hop for distance (SHD). Self-estimated values and hop distance were measured for 63 healthy adults. The participants were classified into two groups: those who were able to achieve a stable landing (group A), and those who were not (group B). In addition to the self-estimated values, knee flexion and extension muscle strength, age, height, and weight were included in the analysis as factors that may potentially affect postural stability during landing. Statistical analyses were performed using the Mann-Whitney U test, independent t-test, logistic regression analysis, and ROC analysis. The significance level was set at 5%. The results showed that the mean self-estimated value (standardized by height) was significantly higher for group B (102.8 ± 19.0) compared to the corresponding value for group A (74.4 ± 16.8). Of the potentially influential factors, the only one identified as a predictor of landing stability was the self-estimated value, with a cut-off value of 87.1%. If the SHD self-estimated value exceeds 87.1%, a landing error may occur.