

称号及び氏名 博士（保健学） 杉 山 恭 二

学位授与の日付 令和5年3月31日

論 文 名 着地衝撃に関する筋力発揮能力の検討

論文審査委員 主 査 淵岡 聡
副 査 樋口 由美
副 査 岩田 晃

学位論文の要旨

急激な強い外力により生じる靭帯損傷などのスポーツ損傷の多くは、着地動作での大きすぎる着地衝撃により発生する。そのため、スポーツ損傷の予防推進には、着地衝撃のコントロールに関わる身体運動機能を解明することが重要である。本研究では、まず、第1章で、代表的なスポーツ損傷である前十字靭帯損傷再建術後のスポーツ復帰時期の着地衝撃についてその現状把握を行い、第2章では、健常者を対象に着地衝撃に関与する身体運動機能について検討した。

第1章では、ACL再建術後のスポーツ復帰前における、片脚着地時の着地衝撃の変化を調べることを目的とした。対象は、ACL再建術後患者13名（男性7名、女性6名）とした。選定基準は、ACL再建術後スポーツ復帰を目標に術後8か月までリハビリを継続したものとした。平均年齢は22歳、身長166cm、体重58Kgであった。採取腱は、半腱様筋腱9名、膝蓋腱4名であり、半月板縫合は、内側2名、外側3名、内外側2名であった。術後6か月から片脚ドロップジャンプ着地、方向転換、アジリティを重点的にトレーニングした。術後6か月と8か月に高さ20cmの台から30cm前方に片脚で床反力計上に着地し、最大床反力垂直成分、最大床反力到達時間、荷重率を計測した。また、各時期に60deg/sでの等速度膝伸展筋力トルクを計測し、健患側比を計算した。統計解析には対応のあるt検定を用いて、P値0.05未満を有意差ありとした。着地衝撃の評価指標では、最大床反力到達時間は、術後6か月に比べて8か月では65.9msから70.5msに有意に延長した。一方で、最大床反力垂直成分と荷重率は有意差を認めなかった。最大膝伸展トルクは、術側では、術後6か月に比べて8か月では、236.5Nm/kgから260.3Nm/kgに有意に向上し、最大膝伸展トルク健患比は、80.6%から93.2%に有意に向上した。一方で、非術側の最大膝伸展トルクは有意差を認めなかった。本研究における結果から、アスレチックリハビリテーション期間の術後6-8か月の間で、着地衝撃に関与する指標の中で最大床反力垂直成分や荷重率は変化を認めなかったが、最大床反力到達時間は有意に延長しており、着地能力の一部が変化していることが明らかとなった。一方で、最大膝伸展トルクは有意に改善していた。そのため、着地衝撃の指標である最大床反力垂直成分や荷重率は、筋力回復のみでは改善しない可能性が示唆された。つまり、着地衝撃には筋力以外の新たな筋力発揮能力が関与していることが想定された。

そこで、第2章では、健常者を対象に着地衝撃に関与する筋力発揮能力を検討することとした。着地衝撃の吸収には、適切なタイミングで瞬発力を発揮する能力が必要であると考える。また、「3・2・1」といったカウントダウンは、タイミングを調整するための非常に一般的な評価方法である。そこで、カウントダウン合図を用いてRFDを測定する新し

い評価方法を提案し、これをカウントダウン RFD と定義した。カウントダウン RFD を用いることで、適切なタイミングで瞬発力を発揮することができる人が、着地時の荷重率が低いかどうかを検討することができると考えた。そこで、着地衝撃を吸収する能力が適切なタイミングで瞬発的な筋力を発揮させる能力に関係しているという仮説を検証することを目的とした。対象者は、健康成人男性 29 人とした。適切なタイミングで瞬発力を発揮する能力を評価するために、標準的な開始合図での RFD とカウントダウン合図での RFD の間の変化率を算出し、**timing effect index** と定義した。さらに、高さ 20cm の台から 30cm 前方に片脚で床反力計上に着地し、最大床反力垂直成分、最大床反力到達時間、荷重率を計測した。**timing effect index** に基づいて対象者を **Positive** 群（カウントダウン合図で RFD が増加した対象者、 $n = 11$ ）と **Negative** 群（カウントダウン合図で RFD が減少した対象者、 $n = 18$ ）の 2 群に分けた。荷重率は、**Positive** 群（ 34.7 ± 7.1 BW/s）が、**Negative** 群（ 47.4 ± 11.2 BW/s）よりも有意に低かった。つまり、カウントダウン合図で RFD が増加した対象者は、着地時の荷重率が低かった。本研究の結果は、適切なタイミングで瞬発力を発揮する能力が着地衝撃の大きさの決定要因の 1 つである可能性が示唆された。

論文審査結果の要旨

代表的なスポーツ損傷の1つである、前十字靭帯損傷再建術後のスポーツ復帰に必要な着地動作時の衝撃緩衝能力に着目した研究である。

第1章では、ACL再建術後8か月まで理学療法およびアスレチックリハビリテーションを継続した患者を対象に、術後6か月と8か月における等速性膝関節伸展筋力、高さ20cmの台から30cm前方に片脚で床反力計上に着地させた際の最大床反力垂直成分、最大床反力到達時間、荷重率を計測し比較した。結果、最大床反力到達時間は術後8か月で有意に延長した一方、最大床反力垂直成分と荷重率は有意差を認めなかった。等速性膝関節伸展筋力は術側では8か月で有意に向上し、健患比は有意に向上した。筋力は回復したものの最大床反力垂直成分や荷重率に優位な変化がみられず、着地衝撃には筋力以外の筋力発揮能力が関与していることが想定された。

この結果を受け、第2章で着地衝撃緩衝には適切なタイミングで瞬発的筋力発揮が必要であると仮定しカウントダウンにタイミング合わせて筋力を発揮する能力の指標としてカウントダウンRFDを考案し、カウントダウンRFDと着地衝撃との関係を検討した。通常RFDとカウントダウンRFDの差分をtiming effect indexを定義し、健常若年成人を対象に、高さ20cmの台から30cm前方に片脚で着地した際の最大床反力垂直成分、最大床反力到達時間、荷重率を計測した。timing effect indexに基づいてPositive群（カウントダウン合図でRFDが増加）とNegative群（カウントダウン合図でRFDが減少）に分け2群を比較した。結果、荷重率はPositive群で有意に低く、適切なタイミングで瞬発力を発揮する能力が着地衝撃緩衝能力の決定要因の1つである可能性が示唆され、ACL再建術後の再損傷を予防するためのトレーニング方法開発の一助となる有用な研究であると考えられる。

timing effect indexの考案による新規性があり、先行知見を交えて論理的に破綻することなく科学的に考察しており学術的妥当性も担保されている。timing effect indexの活用にやや不十分な点もあるが、結果の解釈について個別審査で指摘された点については、最終審査において解説と修正を加え、わかりやすく工夫して発表できていた。

研究限界と今後の課題についても認識しており、研究継続により臨床での活用が期待できる成果を示すことができたと考える。以上を踏まえ、博士学位論文としての水準を満たしていると判定した。