

着地衝撃に関与する膝伸展筋機能の検討

○杉山 恭二 (PT) (すぎやま きょうじ)¹⁾, 木村 佳記 (PT)²⁾, 淵岡 聡 (PT)¹⁾, 前 達雄 (MD)³⁾, 中田 研 (MD)⁴⁾

¹⁾ 大阪府立大学大学院 総合リハビリテーション学研究所

²⁾ 大阪大学医学部附属病院 リハビリテーション部

³⁾ 大阪大学大学院 医学系研究科器官制御外科学

⁴⁾ 大阪大学大学院 医学系研究科健康スポーツ科学

はじめに

スポーツ活動中のジャンプやカッティングにおいて、過度の着地衝撃は下肢の外傷を発症するリスク因子の一つであり¹⁾、衝撃の強さの評価が重要である。着地衝撃に伴い増大する外部膝屈曲モーメントに抗するには、膝伸展モーメントの発揮が必要とされる²⁾。しかし、我々の先行研究において膝関節伸展筋の最大トルクと着地衝撃との相関はなかった³⁾。このため、着地衝撃の強さにどのような膝関節の筋機能が関係するかは不明である。着地衝撃は接地直後の30～80ms以内に生じることから⁴⁾、300～500msで発揮される膝伸展最大筋力⁵⁾よりむしろ瞬発的な筋力の発揮能力が必要と考えられる。また、足底が着地するまでは、地面からの感覚情報が無い期間が存在するため、着地衝撃が発生するタイミングに備える必要がある。これらのことから、着地の衝撃吸収に必要な膝関節の筋機能は、タイミングに注意を分配しながら瞬発的に膝伸展筋力を発揮する能力と考えた。

注意の分配が必要な運動課題による運動スキルの評価(dual-task)の先行研究には、歩行動作に注意課題を加えることで転倒リスクを評価した報告⁶⁾や、サッカーのドリブル動作に注意課題を加えることで競技力の差を評価した報告⁷⁾などが散見される。dual-taskを用いた先行研究では、注意課題を加える前後におけるパフォーマンスのスコアの変化率⁸⁾を指標とする。我々は、運動の開始タイミングを注意課題として加えた膝伸展筋力発揮を、新規のdual-taskとして考案した。このdual-taskにおいて、瞬発的な膝伸展筋力の発揮能力が低いほど着地衝撃が強くなると仮説を立てた。本研究の目的は、筋力発揮のタイミングに注意を分配しながら行う瞬発的な筋力発揮能力と着地衝撃の関連を調査することとした。

対象と方法: 研究方法

1) 対象

対象は、下肢に傷害既往のない健常男子大学生20名

で平均年齢20歳(19～23歳)、身長171cm(160～178cm)、体重66kg(58～82kg)であった。被験者の運動習慣は、週1回程度であった。なお、被験者には研究内容を十分に説明し参加の同意を得て行なった。尚、本研究は大阪府立大学大学院総合リハビリテーション学研究所の倫理審査委員会の承認を受けたものである(承認番号2017-101)。

2) 膝伸展筋機能の評価

瞬発的な膝伸展筋力の発揮能力の指標として、力の立ち上がり率(rate of force development, 以下RFD)を用いた。RFDは、一定時間間隔における筋力変化の平均勾配を指標とし、その傾斜が急勾配であるほど瞬発的な筋力発揮ができていと評価される⁹⁾。また、RFDは大脳の興奮性などの神経性要因の関与が大きく、特に50ms時点でのRFDはスポーツパフォーマンスと関連すると報告されている⁹⁾。本研究において、RFDの計測はAagaardら⁹⁾が提唱した方法に準じて、座位での等尺性膝伸展運動を課題として行った。計測装置は、多用途筋機能評価運動装置(Biodex system3: Biodex社製)とした。測定肢位は、椅子座位、股関節および膝関節90°屈曲位にて、大腿部および胸部をベルトで固定し、下腿遠位のパッドを内果より2横指近位に固定した。運動指示は、対象者に電子音による運動合図(以下、Cue)に合わせて、可能な限り速くかつ強く膝関節を伸展するように指示した。練習を3回行い、3分程度の休憩を挟んだ後、5回計測した。Cueは、以下の2条件で実施した(図1)。①1Cue条件: RFDを計測する一般的な方法で⁹⁾、1回のみ発生させる電子音が聞こえたのと同時に瞬発的な筋力発揮を行う。②3Cue条件: 1秒間隔で発生される電子音の3回目にタイミングを合わせて瞬発的な筋力発揮を行う。これは、Cueに注意を向けた状態で瞬発的な筋力発揮を行う新規のdual-taskとして考案した。なお、Cueより前に動いた試技や反動をつけた試技は除外した。評価項目は、50ms時点のRFD(以下、RFD50)とし、5回の計測においてRFDの高い方から3回の測定結果の平均値を代表値とした。さらに、dual-

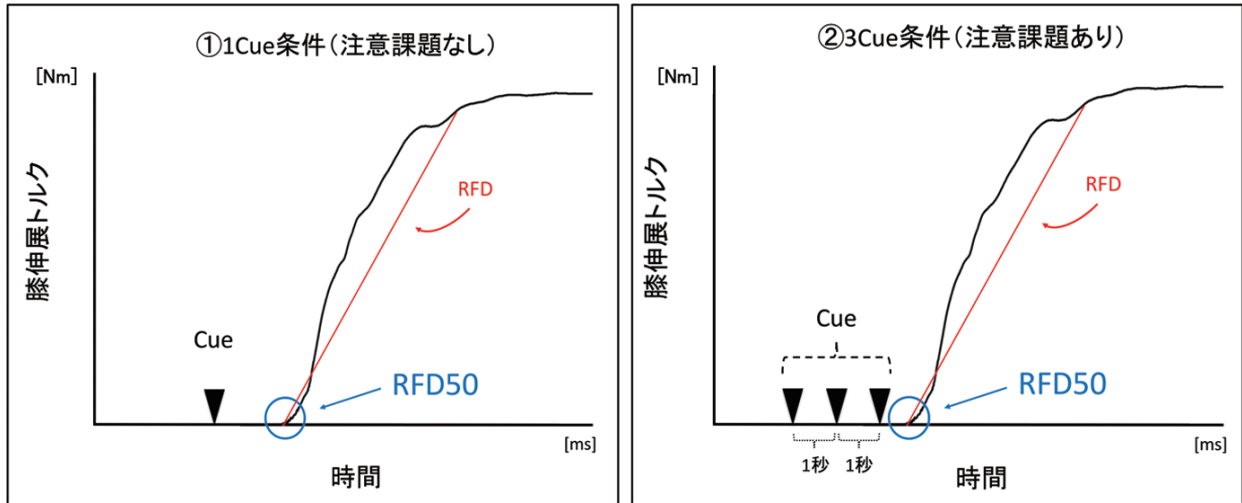


図1. RFD計測における異なる合図での2つの運動条件

taskにおけるパフォーマンスのスコアとして、RFD変化率 $((1\text{CueRFD50}-3\text{CueRFD50})/1\text{CueRFD50} \times 100)$ を算出した。

3) 着地衝撃の評価

着地衝撃の評価には、床反力計 (BP400600: AMTI社製) への片脚ドロップジャンプ着地¹⁰⁾を用いた。対象者には、高さ20cmの台から30cm前方に片脚で飛び降り同脚で着地させた。胸の前で腕組みを行い、可能な限り柔らかく着地し、着地後はできる限り静止するように指示した。3回の練習後に3回の計測を行った。なお、着地後5秒以内に床反力計から降りた試技、姿勢保持のために着地後足をずらした試技、および腕組みを外した試技は除外した。データ処理は、着地衝撃の指標として最大床反力垂直成分を最大床反力到達時間で除した衝撃率 (loading rate)¹¹⁾を用い、3回の平均値を代表値として算出した。

4) 統計学的検定

RFD50について、1Cueと3Cueの2群間比較には対応のあるt検定を用いた。また、RFD変化率と衝撃率との関連性の検討にはピアソンの積率相関係数を用いた。いずれも、p値0.05未満を有意差ありと判定した。

結 果

RFD50は、1Cueでは 15.4 ± 3.2 (Nm/s/kg)、3Cueでは 14.7 ± 4.4 (Nm/s/kg)であった。2群間に有意差はなかった。

RFD変化率と衝撃率の間には、中等度の正の相関 ($r=0.6$) を認めた (図2)。

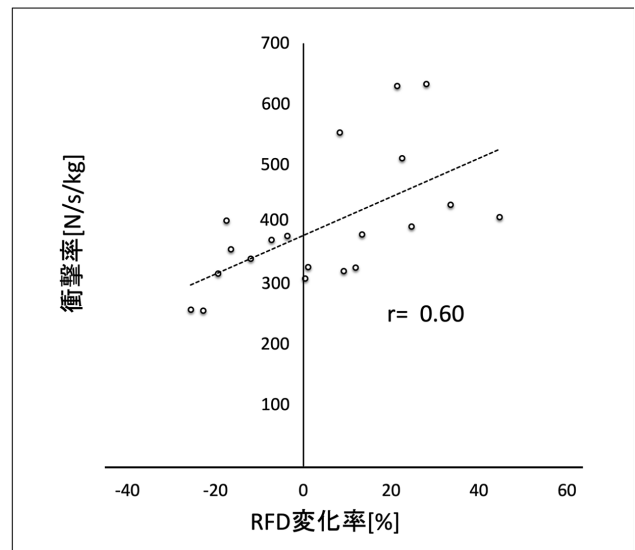


図2. RFD変化率と着地衝撃の関係

考 察

運動の開始タイミングを注意課題としてRFDを計測した結果、注意課題の有無はRFDに影響がなかった。一方で、RFD変化率と衝撃率の間には、中等度の正の相関を認めた。RFD変化率は、1Cue(注意課題なし)に対して3Cue(注意課題あり)においてRFD50が低下する対象者では正の値を示し、その値が大きいほど注意課題による膝伸展筋力の発揮能力の低下が示唆される。本研究結果から、注意課題によってRFDが低下する対象者ほど着地衝撃が大きくなることが明らかとなった。その原因として、大脳における興奮性の処理資源は一定であるという理論¹²⁾が当てはまると考えた。つまり、注意課題によってRFDが低下する対象者では、注意課題に大脳における興奮性の処理資源

がより多く割り当てられた結果、瞬発的な筋力発揮に割り当てられる処理資源が低下したことが原因と考えられた。以上のことから、着地衝撃の緩和には、タイミングに注意を分配した状態での瞬発的な膝伸展筋力の発揮能力が重要であると考えられた。

結 論

注意課題を加えることで膝伸展筋におけるRFDが低下する対象ほど着地衝撃が大きくなる傾向があった。タイミングに注意を分配した状態での瞬発的な膝伸展筋力の発揮能力は着地衝撃に関与することが示唆された。

参考文献

- 1) Dufek JS, Bates BT. Biomechanical factors associated with injury during landing in jump sports. *Sports medicine* 1991; 12: 326 - 337.
- 2) Davita P, Skelly WA. Effect of landing stiffness of joint kinetics and energetics in lower extremity. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 108 - 115.
- 3) 木村佳記, 中田研, 松尾知彦 他. 片脚ドロップジャンプ着地による動的バランス計測: 着地直後の重心動揺軌跡解析. *スポーツ傷害* 2013; 18: 55 - 57.
- 4) 木村佳記, 米谷泰一, 前達雄 他. 片脚ドロップジャンプ着地テストによる動的バランス評価 一足圧中心軌跡長と筋力の相関一. *スポーツ傷害* 2014; 19: 41 - 44.
- 5) Murray MP, Baldwin JM, Gardner GM, et al. Maximum isometric knee flexor and extensor muscle contractions: normal patterns of torque versus time. *Phys Ther* 1997; 57: 637 - 643.
- 6) Springer S, Giladi N, Peretz C, et al. Dual-tasking effects on gait variability: the role of aging, falls, and executive function. *Mov Disord* 2006; 21: 950 - 957.
- 7) Smith MD, Chamerin CJ. Effects of adding cognitively demanding tasks on soccer skill performance. *Percept Mot Skills* 1992; 75: 955 - 961.
- 8) Kelly VE, Janke AA, Shumway-Cook A. Effects of instructed focus and task difficulty on concurrent walking and cognitive task performance in healthy young adults. *Experimental Brain Research* 2010; 207: 65 - 73.
- 9) Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, et al. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol* 2016; 116: 1091 - 1116.
- 10) 杉山恭二, 木村佳記, 佐藤睦美 他. 動的バランス評価方法の提案: 片脚drop jump着地動作における重心動揺総軌跡長の再現性. *スポーツ傷害* 2012; 17: 40 - 42.
- 11) Paerno MV, Ford KR, Myer GD, et al. Limb asymmetries in landing and Jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin J Sport Med* 2007; 17: 258 - 262.
- 12) Navon D, Gopher D. On the economy of the human-processing system. *Psychol Rev* 1979; 86: 214 - 255.