

論文内容要旨

Effects of limited previously acquired information about falling height on lower limb biomechanics when individuals are landing with limited visual input

(視覚制限下における落下高度の事前知識の有無が着地時の下肢バイオメカニクスに与える影響)

Clinical biomechanics (Bristol, Avon), 96, 105661, 2022.

主指導教員：安達 伸生 教授

(医系科学研究科 整形外科学)

副指導教員：大段 秀樹 教授

(医系科学研究科 消化器・移植外科学)

副指導教員：亀井 直輔 准教授

(医系科学研究科 整形外科学)

阿部 巧

(医歯薬保健学研究科 医歯薬学専攻)

背景：膝前十字靭帯（Anterior cruciate ligament、以下 ACL）損傷はスポーツ活動中に好発する外傷である。着地等の動作中に生じる床反力の増加や膝屈曲角度の減少等、ACL 損傷に関連する運動学・運動力学的要因は報告されているが、これらを防ぐための予防プログラムは確立されていない。ACL 損傷の特徴として、膝への直接外力を伴わない非接触損傷の割合が高いことが挙げられる。すなわち、姿勢制御により損傷危険肢位を回避することで損傷を予防できる可能性がある。適切な姿勢制御を行うためには、動作を行う環境の情報を適切に得ることが重要であり、視覚は情報獲得に大きく貢献する。しかし、予め環境の情報が得られた場合、視覚情報の制限が姿勢制御に与える影響は少ないことが報告されており、環境への事前知識が動作時の姿勢制御に影響を与えると考えられる。落下高度は着地の衝撃発生タイミングや衝撃の大きさに影響を与えるが、落下高度についての事前知識が着地動作時の下肢・体幹バイオメカニクスに与える影響については一定の見解を得られていない。そこで本研究は、視覚情報制限下における落下高度の事前知識の有無が着地時の下肢バイオメカニクスに与える影響を明らかにすることで、ACL 損傷メカニズム解明の一助とすることを目的とした。

方法：被験者は健常若年者 20 名とし、ドロップ着地動作を課題動作とした。落下高度は 30cm または 20cm とし、試行ごとに無作為に落下高度を設定した。課題条件は、視覚情報及び落下高度の事前知識を制限した Unknown 条件、視覚情報は制限し落下高度の事前知識を与えた Known 条件、視覚情報及び落下高度の情報を制限しない Control 条件の 3 条件とした。赤外線カメラを用いた三次元動作解析装置（Vicon MX, Vicon Motion Systems, Oxford, UK）を使用し、被験者の体表に貼付した赤外線反射マーカの座標を計測した。座標データより、体幹及び下肢関節の運動学データを算出した。また、床反力計（AMTI, MA, USA）を使用し、運動力学データを計測した。解析区間は接地時から床反力ピーク出現時までとし、得られたデータより、床反力最大値（垂直及び後方）、身体重心位置変化量（垂直及び前方）、体幹及び下肢関節（膝関節、股関節、足関節）屈曲角度、下肢関節の伸展モーメントを算出した。床反力に対する下肢関節の対応を評価するため、各下肢関節及び下肢全体のスティフネスを算出し、下肢関節における衝撃吸収機能を評価するために各下肢関節の仕事量を算出した。各条件間における算出項目の比較には反復測定一元配置分散分析を用い、条件の主効果が確認された場合には Shaffer の方法を用いて事後検定を行った。なお、有意水準は $p = 0.05$ とした。

結果：Unknown 条件において、垂直及び後方床反力が他の 2 群に比べて優位に高値を示した。また、膝・足関節及び体幹屈曲角度変化量、身体重心前方移動量、レッグスティフネス、膝関節スティフネス、足関節仕事量は Unknown 条件において他の 2 群に比べて優位に低値を示した。

考察：垂直及び後方床反力の増加は ACL 損傷のリスク要因であるため、視覚制限下における落下高度の事前知識の欠如は着地時の ACL 損傷リスクを高めることが示された。

垂直床反力の増加にはレッグスティフネスの増加と足関節の衝撃吸収機能の低下が影響する。

予測困難な外乱が生じた場合、下肢関節運動を減少させ、レッグスティフネスを高めることで身体の安定性を高める反応が生じる。Unknown 条件においても、着地時の外乱は予測困難であるため、レッグスティフネスが増加したと考えられる。また、不安定な面への着地動作において、接地時の足関節底屈角度を減少させることで支持面を早期に獲得する姿勢制御が行われることが報告されており、Unknown 条件においても同様の制御が生じたと考えられる。しかし、接地時の足関節底屈角度の減少は、足関節背屈角度変化量の減少をもたらし、着地動作中の足関節における衝撃吸収機能を低下させた。すなわち、Unknown 条件において、着地後早期の安定性を確保するための代償として、垂直床反力の増加が生じたと考えられる。

後方床反力の増加には、体幹屈曲運動の減少が影響する。予測困難な外乱が生じる環境や恐怖を感じる環境において、体幹屈曲運動は減少するため、Unknown 条件においても同様の反応が生じたと考える。本研究の運動課題は前方へのドロップ着地動作であるため、着地時の身体重心は前方へ移動し、前方への転倒リスクが高まる。体幹屈曲運動の減少は重心の前方移動を抑制するため、前方への転倒を予防するために体幹屈曲運動を減少させたと推察される。しかし、重心の前方移動減少は後方床反力の増加を引き起こす。すなわち、転倒リスク減少の代償として後方床反力の増加が生じたと考えられる。

以上より、視覚制限下における落下高度の事前知識の欠如に対し、着地時の身体安定性を高め、転倒を予防する反応が生じ、その代償として ACL 損傷のリスク要因である垂直及び後方床反力が増加したことが示された。