

ACL 再建術後の歩容変化に関する一考察 ～リアプノフ指数に着目した研究～

篠原 博¹⁾、細見亮太²⁾、大西智也³⁾、羽場俊広⁴⁾、梅崎泰侑¹⁾、川村大地¹⁾、菅原 陸¹⁾、
鈴木 光¹⁾

1) 青森県立保健大学大学院健康科学研究科、

2) 石川病院、3) 宝塚医療大学和歌山保健医療学部、4) 青森県立保健大学理学療法学科

Key Words ① ACL 再建術 ②歩行分析 ③リアプノフ指数

I. はじめに

膝前十字靱帯 (Anterior Cruciate Ligament: ACL) はスポーツ活動中のコンタクトや切り返し動作、ジャンプ着地動作などで損傷されることが多い靱帯である。スポーツ活動へ復帰する場合は ACL 損傷後に再建術を行うことが一般的であり、その後リハビリテーションを実施することが推奨されている。リハビリテーションプログラムは段階的に構成されており、初期段階では膝の腫れを減らし、適切な範囲の動きを取り戻すことに焦点を当て、次に筋力トレーニング、バランス、プロプリオセプション (関節の位置感覚) の向上を促す。最終段階では、生活スタイルやスポーツ活動に応じた訓練を行い、膝の完全な機能回復を目指します。適切なリハビリテーションを行うことで、患者はより早く、より安全に日常生活や愛好するスポーツへと戻ることができるとされている。

その一方で術側膝関節が変形性膝関節症 (膝 OA) へ進行することも懸念されている。原因として ACL 再建術後の潜在的な歩容の変化が影響しているとされている。近年、歩容の安定性の質的な評価法としてリアプノフ指数を用いたカオス解析が注目されている。非線形性データの力学的特徴を見出すカオス時系列解析 (chaotic time series analysis) であり、生体システム (心拍、自律神経活動) や自然現象といった様々な分野で応用されている。近年は歩行の安定性の評価としても活用されてとしても活用されている。この解析方法は ACL 再建術後者に対しても検討されており、膝関節屈曲・伸展角度のリアプノフ指数は健常者に比べて低い値を呈することが報告されている。しかし、膝 OA への進行を検討するにあたり、膝関節内反・外反角度のカオス解析も必要と考えるが、そのような報告は見当たらない。

II. 目的

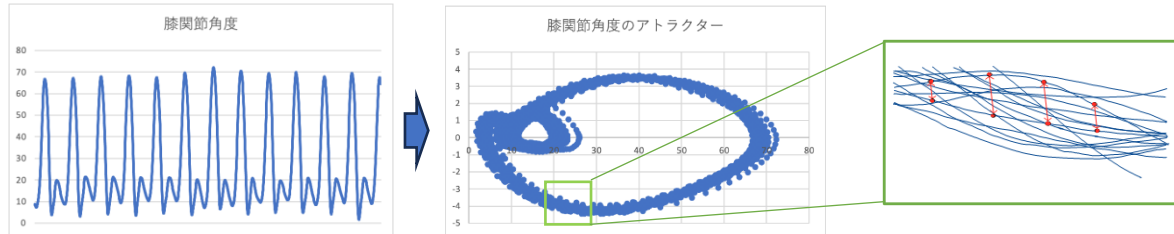
本研究では ACL 再建術後で日常生活を支障なく送っている者と下肢に既往のない者を対象とし、1 分間の連続した歩行で生じる膝関節運動をカオス解析し、得られたリアプノフ指数を比較することで膝 OA への進行予防の要因を検討することを目的とした。

III. 研究方法

対象は ACL 群 8 名 (男性 1 名、女性 7 名、年齢 22.0 ± 1.2 歳、身長 163.6 ± 7.4 cm、体重 59.7 ± 7.6 kg)、健常群 8 名 (男性 1 名、女性 7 名、年齢 21.7 ± 0.9 歳、身長 159.4 ± 6.3 cm、体重 50.5 ± 6.0 kg) の 16 名 16 肢とした。本研究は青森県立保健大学研究倫理委員会の承認を得て実施した (承認番号 21055)。課題動作はトレッドミル上で時速 4.5 km の速度での 1 分間の歩行とした。測定機器と

して赤外線カメラ(PrimeX 13、OptiTrack 社、米国)を6台、計測ソフトウェア(Motive Body、OptiTrack 社製、米国)を使用した。対象者は専用のスーツ及びスパッツを着用のもと、全身に27個の反射マーカを貼付して実施した。得られた膝関節屈曲・伸展、内反・外反角度データのリアプノフ指数を算出し、マン・ホイットニーのU検定にて両群を比較した。

図 リアプノフ指数の解析過程の図式化



IV. 結果

膝関節屈曲伸展角度のリアプノフ指数の結果は ACL 群が -0.0040 ± 0.0098 となり、健常群では -0.0037 ± 0.0158 となり、有意な差を認めなかった。膝関節内反外反角度では ACL 群が 0.0121 ± 0.0058 となり、健常群では 0.0181 ± 0.0015 となり、有意な差を認めた ($p < 0.05$)。ACL 群の膝関節内反・外反角度のリアプノフ指数が低いことから、内反・外反角度のばらつきが少ないことが示された。このことより ACL 群では歩行毎の膝関節の軌道が同様の箇所を通り、結果的に負荷が集中していることが示唆された。

ACL群	屈曲伸展	内転外転	内旋外旋	健常群	屈曲伸展	内転外転	内旋外旋
対象1	-0.00184	0.018712	0.023425	対象1	0.010369	0.017016	0.013761
対象2	-0.01166	0.016673	0.02269	対象2	0.010779	0.015427	0.019031
対象3	-0.01549	0.015736	0.010781	対象3	-0.01639	0.017997	0.01557
対象4	0.002919	0.012789	0.016692	対象4	0.003079	0.020417	0.023193
対象5	0.00268	0.001278	0.0241	対象5	0.007652	0.017987	0.021976
対象6	-0.01433	0.009865	0.014419	対象6	-0.02626	0.020143	0.02238
対象7	0.012742	0.015392	0.023236	対象7	0.005729	0.018295	0.017686
対象8	-0.00715	0.00701	0.013592	対象8	-0.02424	0.017994	0.017827
Office on the web Frame 平均	-0.00401613	0.01218188	0.01861688		-0.00366025	0.0181595	0.018928
標準偏差	0.00989069	0.00582027	0.00533301		0.0158708	0.0015994	0.00338349

V. 考察

ACL 群の膝関節内反・外反角度のリアプノフ指数が低いことから、内反・外反角度のばらつきが少ないことが示された。このことより ACL 群では歩行毎の膝関節の軌道が同様の箇所を通り、結果的に負荷が集中していることが示唆された。しかしながら膝関節屈曲・伸展角度においては有意な差を認めず、またカオス性がないことを表しており、先行研究とは一致していない。その理由として解析対象とした歩行周期数が影響するかもしれない。先行研究では 60～150 歩行周期が多く、本研究では 40～50 歩行周期であった。測定方法の見直しを含め、今後の課題である。

VI. 発表

1) 篠原 博 他：ACL 再建術後の歩容変化に関する一考察 ～リアプノフ指数に着目した研究～。
日本ヒューマンケア科学学会第 16 回学術集会。2023.