前十字靱帯再建術後症例に対する認知運動課題が 膝関節位置覚に与える効果

——準ランダム化比較試験——

*Effect of a Cognitive Motor Task on Knee Joint Position Sense after Anterior Cruciate
Ligament Reconstruction: A Quasi-randomized Controlled Trial*

高石 翔¹⁾

SHO TAKAISHI, RPT¹⁾

¹⁾ Kawada Orthopedic Clinic: 920-1 Ko, Takaoka-cho, Tosa-shi, Kochi 781-1101, Japan TEL +81 88-855-5555
E-mail: takaishi.kochi@gmail.com

Rigakuryoho Kagaku 35(4): 565-570, 2020. Submitted Feb. 25, 2020. Accepted Mar. 25, 2020.

ABSTRACT: [Purpose] To compare the effectiveness of 3 tasks: range-of-motion exercise, mental rotation task, and cognitive motor task, to improve knee joint position sense (JPS) after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction through a quasi-randomized nonblinded controlled trial. [Participants and Methods] Patients admitted to the study hospital for ACL reconstruction within the period between May 2015 and July 2018, excluding those with second ACL tear, contralateral ACL reconstruction, or patellar dislocation, were assigned to one of the 3 task groups, and their knee JPS before and 3-4 weeks after surgery was compared. Each task was added to the rehabilitation protocols used in the study hospital. The duration of each task was 15 minutes/day. [Results] A marked improvement in knee JPS after surgery was observed only in the cognitive motor task group. [Conclusion] The cognitive motor task may improve knee JPS in 3 to 4 weeks after ACL reconstruction.

Key words: anterior cruciate ligament, position sense, quasi-randomized controlled trial

要旨:〔目的〕前十字靱帯（ACL）再建術後症例を関節可動域運動群，メンタルローテーション課題群，認知運動課題群の3群に分け，非盲検化準ランダム化比較試験により位置覚改善効果を比較した．〔対象と方法〕2015年5月から2018年7月の間にACL再建目的で入院した患者のうち，ACL再断裂例，対側ACL再建例，膝蓋骨脱臼例を除外した者を対象とし，術前および術後3週・4週での位置覚を比較した．介入課題は当院のリハビリテーションプロトコルに追加し，時間は各群とも1日15分とした．〔結果〕認知運動課題群のみ術後の位置覚に有意な改善を認めた．〔結語〕認知運動課題により術前と比べて術後3～4週間で位置覚が改善する可能性がある．

キーワード: 前十字靱帯，位置覚，準ランダム化比較試験

¹⁾ 医療法人高尚会川田整形外科：高知県土佐市高岡町甲920-1（〒781-1101）TEL 088-855-5555

I. はじめに

下肢の代表的なスポーツ傷害の一つである膝前十字靱帯 (anterior cruciate ligament: 以下, ACL) 損傷が生じると、膝関節位置覚 (以下, 位置覚) は低下することが報告されている¹⁾。ACL 損傷に伴う位置覚低下は giving way および不安定性²⁾ や片脚立位バランス³⁾ などに関与し、健常者における位置覚低下は ACL 損傷の危険因子となることが報告されている⁴⁾。さらに、ACL 再建術後の位置覚低下や疼痛などにより求心性の体性感覚情報が変質すると、体性感覚情報が入力される大脳皮質感覚野の再配置が生じ、結果的に視覚情報により代償された運動制御となる可能性が指摘されている⁵⁾。したがって、ACL 再建術後のリハビリテーションでは低下した位置覚を改善させ、整合性のある体性感覚情報を構築させる必要がある。

これまでに、運動イメージを潜在的に想起させるメンタルローテーション課題⁶⁾ や閉眼下での下肢固有受容性課題⁷⁾ によって ACL 再建術後症例の位置覚が改善するとの報告がある一方で、運動療法による位置覚の改善は得られなかったとする報告もある⁸⁾。これらの先行研究結果を統合すると、低下した位置覚の改善には運動イメージ想起や下肢の固有受容器の賦活が有効である可能性が示唆されるが、運動イメージ想起課題と運動イメージ想起に加えて下肢固有受容器の賦活を図る課題のどちらが最も効果的であるかは不明である。

そこで本研究では ACL 再建術後症例を関節可動域 (range of motion: 以下, ROM) 運動群 (以下, R 群)、運動イメージ想起を促すメンタルローテーション課題群 (以下, M 群)、運動イメージの想起に加えて下肢の体性感覚情報と視覚情報との一致を求めることで下肢固有受容器の賦活を図る認知運動課題群 (以下, N 群) の3群に分け、術前および術後3週・4週での治療効果を比較した。

II. 対象と方法

1. 対象

2015年5月から2018年7月の間に ACL 再建目的で当院に入院した患者のうち、ACL 再断裂例、対側 ACL 再建例、膝蓋骨脱臼例を除外した者を対象とした。本研究はヘルシンキ宣言に沿って行い、対象者には書面で研究の目的および内容を説明して同意を得た。

2. 方法

研究デザインには非盲検化準ランダム化比較試験を採用し、R 群、M 群、N 群の3群へと、ブロックサイズ2名のブロックランダム化により対象者を手術予定日の早い順に逐次割り付けた。本研究に必要なサンプルサイズ

を検定力分析ソフト G*Power3 を用いて算出した結果 (効果量 $f=0.25$, $\alpha=0.05$, $1-\beta=0.8$)、計 57 名が必要であった。

具体的な治療内容・時間について、当院のリハビリテーションプロトコルでは術後翌日より膝 ROM 運動および大腿四頭筋を中心とした筋力増強運動を開始し (ACL 再建術に半月板縫合術を併用した場合は術後1週から膝 ROM 運動開始)、術後1週から 1/3 部分荷重、術後2週から 2/3 部分荷重となり、術後3週から全荷重が許可された。介入課題はリハビリテーションプロトコルに追加し、治療時間は各群 1 日 15 分に設定した。R 群では Continuous Passive Motion (CPM) 装置 (CPM-1000, 酒井医療社製) を用いた術側下肢の持続的他動運動またはヒールスライドによる自己他動運動を行い、可動範囲は対象者が疼痛を自制できる範囲に設定した。R 群の課題選択と開始日の決定については対象者の担当理学療法士が判断した。術後翌日より開始したメンタルローテーション課題には、回転させた足部の写真を 60 枚入れたクリアファイルを使用し、対象者には写真が右足か左足かを回答してもらった。写真の提示・回答時間は対象者の任意とし、提示から回答までの時間測定はしなかった。

運動イメージ想起時に賦活する大脳皮質運動関連領域や体性感覚野の活動が期待される認知運動課題⁹⁾ は背臥位で両膝関節を伸展した肢位を開始肢位とし、術側下肢の位置または両側下肢の位置関係を認識させる課題を理学療法士 1 名が適応した。術側下肢の位置関係を認識させる方法について、まず術側膝関節を軽度から中等度に 3 回屈曲させた際に踵部の側方へ 3 カ所目印を置き、目印をそれぞれ 1 番、2 番、3 番として対象者に位置を認識させてから開始肢位に戻した。その後、術側膝関節を屈曲させて 1~3 番いずれかの位置まで踵部を移動させ、対象者にその位置の番号を問うた。両側下肢の位置関係を認識させる課題では、一側膝関節を屈曲させることで 1~3 番のうち任意の位置まで踵部を移動させた後、対側も 1~3 番いずれかの位置まで同様に屈曲させて、両側下肢の位置関係について質問した。なお、課題は他動運動から始め、他動運動による位置の認識および自動運動での膝関節屈曲が可能となった時点から自動運動により課題を実施した。課題の正誤に関しては口頭または視覚を用いて即時的に伝え、誤っていた場合には修正させた。

術前および術後3週・4週の評価項目は位置覚、長坐位での自己他動運動による術側膝屈曲 ROM, heel height difference (以下, HHD)、安静時・術側膝屈曲時・HHD 測定時痛の独立記帳式視覚的アナログスケール (Visual Analogue Scale: 以下, VAS) とした。術前の運動イメージ評価には膝関節項目の日本語版 The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (以下,

KVIQ)を用い、視覚イメージおよび筋感覚イメージの鮮明度を各々5段階で評価した。位置覚の評価には、基準脚(規範となる脚)と対象脚(基準脚が示した角度を再現する脚)の角度を一致させるマッチング課題を採用した¹⁰⁾。測定角度は膝関節15°および30°屈曲位に設定し、腹臥位で対象者を閉眼させた肢位で測定した。測定方法について、まず基準脚を傾斜板にのせ、対象脚である対側の膝関節を自動運動により屈曲してもらい、設定角度まで到達したと対象者が認識した時点で口頭により合図をさせ、デジタル傾斜角度計(デジタルアングルメーターミニ、シンワ測定社製)を用いて両下腿部の傾斜角度を計測した。その後、術側および非術側のそれぞれを基準脚とした各試行における傾斜角度の左右差を誤差角度として求めた。位置覚、KVIQおよび術後の評価は理学療法士1名が行い、術前の膝屈曲ROM、HHDおよびVASは対象者の担当理学療法士が評価した。なお、位置覚およびVASの代表値には3回繰り返し測定した値を用い、その他の評価項目では測定回数を1回とした。

統計手法については、Shapiro-Wilk検定による正規性の検定結果に基づき選択した。術前における3群の特性比較には、 χ^2 検定、Fisherの直接確率法、Kruskal-Wallis検定を用いた。効果判定には分割プロットデザインによる二元配置分散分析を用いて、測定時期(術前、術後3週、術後4週)の主効果と、測定時期と治療法(R群、M群、N群)との交互作用を検討した。交互作用を認めた場合にはTukey法による事後検定を行い、効果量(r)を計算式 $\sqrt{(t^2/(t^2+df))}$ から算出し、Cohenの指標¹¹⁾を基準に効果の大きさを求めた。統計解析にはR2.8.1を用い、有意水準は5%とした。また、各群における術前後での位置覚の平均変化量が、我々の示した最

小可検変化量の95%信頼区間(minimal detectable change: 以下、MDC₉₅)¹⁰⁾を超えたか判定した(設定角度15°・30°で各々5.7°・10.7°)。

III. 結 果

対象者の割り付けとフォローアップの手順を図1に示す。研究参加に同意した84名のうち除外基準およびデータ不備により17名が除外され、67名の参加者がブロックランダム化により3群に割り付けられた。介入期間中には有害事象は生じず、最終的に57名が解析対象となった。

術前における3群の特性比較を表1に示す。KVIQでは術側の視覚イメージにおいて3群間に有意差を認めたが、その他の項目には有意差を認めなかった。分割プロットデザインによる介入前後の二元配置分散分析結果を表2、位置覚の事後検定結果を表3に示す。二元配置分散分析では、術側および非術側基準脚30°での位置覚、術側膝屈曲ROM、HHD、術側膝関節屈曲時およびHHD測定時のVASにおいて介入時期による有意な主効果を認めた。位置覚に関しては全ての項目で有意な交互作用を認めたため、事後検定を行った。事後検定では、術前と比較して術後3週・4週でN群にのみ有意で大きな介入効果を認めた。群間の比較では、術後3週での非術側基準脚15°において、認知運動課題では他の群と比較して中等度の効果量で有意な改善を示した。また術後4週での術側基準脚15°を除く全ての基準角度において、N群はR群と比べて中等度の効果量で有意な介入効果を認めた。MDC₉₅について、各期間における位置覚の平均変化量は測定誤差範囲を超えなかった。

図1 対象者の割り付けとフォローアップの手順

R群: ROM運動群, M群: メンタルローテーション課題群, N群: 認知運動課題群。

表1 術前における3群の特性比較

			R 群 (n=21)	M 群 (n=17)	N 群 (n=19)
年齢 (歳) ^a			32.2 ± 16.9	25.8 ± 12.0	29.7 ± 12.6
性別 (男性/女性) ^b			10/11	7/10	9/10
身長 (cm) ^a			164.3 ± 7.7	164.1 ± 8.3	163.3 ± 7.4
体重 (kg) ^a			66.3 ± 18.8	62.8 ± 14.8	63.0 ± 11.6
術側 (左/右) ^b			10/11	8/9	13/6
受傷機転 (非接触損傷/接触損傷) ^c			19/2	13/4	17/2
合併症 (MM/LM/MM+LM/MCL+MM+LM) ^c			6/6/3/1	11/2/1/0	7/2/1/0
位置覚誤差 (°) ^a	術側基準脚	15°	12.9 ± 8.9	10.7 ± 5.2	14.3 ± 6.1
		30°	14.6 ± 8.4	11.4 ± 7.3	17.0 ± 7.0
	非損傷側基準脚	15°	14.5 ± 8.2	13.7 ± 4.2	13.8 ± 7.5
		30°	16.5 ± 9.2	14.5 ± 7.0	16.4 ± 8.5
術側膝屈曲 ROM (°) ^a			145.1 ± 10.0	144.2 ± 14.8	146.0 ± 11.6
HHD (mm) ^a			25.6 ± 27.8	9.7 ± 20.9	14.1 ± 30.1
VAS (mm) ^a	安静時		3.2 ± 8.7	2.6 ± 6.1	1.8 ± 6.4
	術側膝関節屈曲時		24.3 ± 26.0	21.4 ± 21.9	19.4 ± 23.1
	HHD 測定時		9.6 ± 15.6	9.4 ± 16.4	8.1 ± 21.2
KVIQ ^a	視覚イメージ	術側 *	3.0 ± 1.0	3.0 ± 1.2	3.0 ± 1.0
		非術側	4.0 ± 1.1	3.0 ± 1.1	3.0 ± 1.0
	筋感覚イメージ	術側	3.0 ± 1.1	3.0 ± 1.0	3.0 ± 1.0
		非術側	4.0 ± 1.2	3.0 ± 0.9	3.0 ± 1.1

平均値 ± 標準偏差. MM: medial meniscus, LM: lateral meniscus, MCL: medial collateral ligament, ROM: range of motion, HHD: heel height difference, VAS: visual analogue scale, KVIQ: kinesthetic and visual imagery questionnaire.

^a: Kruskal-Wallis 検定, ^b: χ^2 検定, ^c: Fisher の直接確率法. *: $p < 0.05$.

IV. 考 察

第一に, ACL 再建術後の認知運動課題により術前と比べて術後3~4週間で位置覚が改善することが明らかとなった. 先行研究では, 潜在的に運動イメージを想起させるメンタルローテーション課題⁶⁾や閉眼下での下肢固有受容性課題⁷⁾により ACL 術後早期に位置覚が改善したと報告されており, 運動イメージ想起や固有受容器の賦活が位置覚の改善に寄与する可能性が示唆されている. 我々も ACL 損傷者の位置覚に関与する因子について重回帰分析を用いて調査した結果, 運動イメージの時間的側面である心的時間と身体活動レベルが影響することを報告した¹²⁾. 本研究では, 実際の運動を反復する R 群と, 潜在的に運動イメージを想起させる M 群では術後の位置覚に改善を認めず, 運動イメージ想起に加えて下肢の体性感覚と視覚との統合を促す N 群には位置覚改善効果があった. これらの研究結果に伴う求心性情報との統合が必要である可能性が示唆された.

第二に, 術前と比べ術後3週~4週において N 群で得られた位置覚の改善は測定誤差範囲内であった. ACL 再建者の位置覚を経時的に追跡した先行研究では低下した位置覚は術後9ヵ月から改善したと報告されてお

り¹³⁾, 術後早期には十分な位置覚の改善が困難である可能性がある. 本研究において術後早期に測定誤差を超える位置覚の改善が得られなかったのは, 炎症に伴う膝関節水腫の貯留と膝関節周囲筋の筋緊張異常に起因する可能性がある. これまでに術後の腫脹により位置覚が低下する可能性が報告されており¹⁴⁾, 櫻井ら¹⁵⁾は ACL 再建術後1ヵ月の全対象者が膝関節水腫を認めたと報告している. 膝関節水腫の貯留は膝関節周囲筋の筋活動を変化させ¹⁶⁾, 位置覚に関与する筋紡錘に影響を及ぼす可能性がある. 筋紡錘の位置覚への貢献度は高く¹⁷⁾, 筋収縮によって位置覚の精度が変化することが報告されている¹⁸⁾. これらの報告から, ACL 再建術後4週までの症例を対象とした本研究においても, 膝関節水腫による膝関節周囲筋の筋緊張異常が位置覚に影響し, 測定誤差を超える位置覚の改善が得られなかったと推測する.

上述した ACL 再建術後の炎症によって生じた膝関節水腫と膝関節周囲筋の筋緊張異常は, 位置覚等の体性感覚情報を変質させるのみならず, 変質した体性感覚情報が入力される大脳皮質感覚野の再配置¹⁹⁾を生じさせ, 運動プログラムや実際の姿勢制御に影響を与える可能性がある. Kapreli ら²⁰⁾による健康者と ACL 損傷者における膝屈伸運動時の脳活動を比較した研究では, ACL

表2 分割プロットデザインによる介入前後の二元配置分散分析

				術前	術後 3 週	術後 4 週
位置覚誤差 (°)	術側基準脚	15° ‡	R 群	12.9 ± 8.9	12.8 ± 8.9	13.7 ± 10.7
			M 群	10.7 ± 5.2	12.0 ± 5.4	14.0 ± 6.3
			N 群	14.3 ± 6.1	8.7 ± 5.6	8.9 ± 5.3
		30° ** ‡	R 群	14.6 ± 8.4	14.7 ± 8.6	13.6 ± 9.0
			M 群	11.4 ± 7.3	11.9 ± 7.3	13.2 ± 5.9
			N 群	17.0 ± 7.0	9.4 ± 5.3	8.3 ± 4.3
	非術側基準脚	15° ‡	R 群	14.5 ± 8.2	16.1 ± 8.5	15.0 ± 10.1
			M 群	13.7 ± 4.2	15.1 ± 4.7	12.8 ± 4.7
			N 群	13.8 ± 7.5	8.5 ± 5.9	8.9 ± 5.1
		30° ** †	R 群	16.5 ± 9.2	15.7 ± 10.1	15.2 ± 9.5
			M 群	14.5 ± 7.0	14.5 ± 4.2	13.4 ± 6.8
			N 群	16.4 ± 8.5	10.4 ± 7.1	8.8 ± 5.5
術側膝屈曲 ROM (°) **			R 群	145.1 ± 10.0	123.2 ± 8.5	126.6 ± 8.7
			M 群	144.2 ± 14.8	120.1 ± 11.2	122.1 ± 12.4
			N 群	146.0 ± 11.6	120.3 ± 10.2	127.3 ± 10.4
HHD (mm) **			R 群	25.6 ± 27.8	44.7 ± 28.2	35.4 ± 23.1
			M 群	9.7 ± 20.9	42.3 ± 28.7	36.6 ± 26.9
			N 群	14.1 ± 30.1	40.5 ± 32.8	31.2 ± 26.0
VAS (mm)	安静時		R 群	3.2 ± 8.7	3.5 ± 8.0	2.8 ± 8.6
			M 群	2.6 ± 6.1	1.1 ± 1.4	1.8 ± 2.7
			N 群	1.8 ± 6.4	1.1 ± 1.7	1.5 ± 3.0
		術側膝関節屈曲時 **	R 群	24.3 ± 26.0	11.0 ± 12.6	10.3 ± 12.1
			M 群	21.4 ± 21.9	15.1 ± 13.9	12.1 ± 13.4
			N 群	19.4 ± 23.1	15.1 ± 16.4	6.7 ± 4.4
	HHD 測定時 *	R 群	9.6 ± 15.6	19.1 ± 21.6	10.3 ± 14.5	
		M 群	9.4 ± 16.4	14.6 ± 13.7	8.5 ± 6.9	
		N 群	8.1 ± 21.2	8.1 ± 6.7	6.4 ± 7.5	

平均値 ± 標準偏差. R 群: ROM 運動群, M 群: メンタルローテーション群, N 群: 認知運動課題群, ROM: range of motion, HHD: heel height difference, VAS: visual analogue scale. 測定時期の主効果: *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, 2 要因の交互作用: †: $p < 0.05$, ‡: $p < 0.01$.

表3 位置覚の事後検定結果

				効果量 (r)			
				非術側基準脚		術側基準脚	
				15°	30°	15°	30°
介入前後	R 群 (n=21)	術前 vs 3 週		0.11	0.06	0.01	0.01
		術前 vs 4 週		0.07	0.10	0.06	0.08
		3 週 vs 4 週		0.13	0.04	0.07	0.09
	M 群 (n=17)	術前 vs 3 週		0.22	0.01	0.16	0.05
		術前 vs 4 週		0.13	0.13	0.39	0.18
		3 週 vs 4 週		0.34	0.12	0.24	0.13
	N 群 (n=19)	術前 vs 3 週		0.53*	0.52*	0.58*	0.70**
		術前 vs 4 週		0.50*	0.61**	0.57*	0.75**
		3 週 vs 4 週		0.05	0.16	0.02	0.13
群間	3 週	R 群 vs M 群		0.06	0.07	0.04	0.16
		R 群 vs N 群		0.44**	0.28	0.24	0.30
		M 群 vs N 群		0.37*	0.21	0.19	0.14
	4 週	R 群 vs M 群		0.12	0.10	0.02	0.03
		R 群 vs N 群		0.34*	0.34*	0.25	0.32*
		M 群 vs N 群		0.21	0.24	0.25	0.28

R 群: ROM 運動群, M 群: メンタルローテーション群, N 群: 認知運動課題群. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$.

損傷者のみ視覚関連領域である後下側頭回などの活動を認めたと報告されており、Okudaら²¹⁾によるACL損傷者と健常者の立位姿勢動揺を比較した研究では、閉眼時にはACL損傷者の重心動揺が有意に大きくなったことが報告されている。これらの報告から、ACL損傷者は視覚情報に依存した運動・姿勢制御戦略を取りうる。この姿勢制御の変化は、ACL損傷による体性感覚情報の信頼性低下に起因する可能性がある。Hwangら²²⁾の健常者を対象とした研究では、体性感覚情報に外乱が加わった場合には立位姿勢制御における視覚や前庭感覚に対する重みづけが大きくなったと報告されており、位置覚などの体性感覚情報の正確性が低下したACL損傷者では、運動制御において代償的に視覚情報への重みづけを大きくしている可能性がある。したがって、ACL再建術後のリハビリテーションでは変質した体性感覚情報を再統合させることで、実際の運動制御における視覚への依存を減らす必要がある。本研究におけるN群では術後の位置覚に有意な改善を示したことから、ACL再建術後の認知運動課題により変質した体性感覚情報が修正され、実際の運動制御における視覚への依存を減らせる可能性が示唆された。

本研究の限界として、ACL再々建例や対側ACL損傷例、膝蓋骨脱臼例は除外しており、それらの症例でも同様の結果を得られるか不明である。また、盲検化をしておらずバイアスの影響を否定できない。

本研究から、ACL再建術後早期からの認知運動課題により術前と比べて術後3～4週間で位置覚が改善するが、その改善は測定誤差範囲内であり、位置覚の回復にはさらなる期間を要する可能性が示された。

利益相反 本研究において開示すべき利益相反はない。

謝辞 本稿を執筆するに当たり、研究にご協力いただいた患者様ならびにデータ収集に尽力してくださった川田整形外科リハビリテーション部スタッフ諸氏、研究計画においてご教示くださった高知医療学院の八坂一彦先生に深謝いたします。

引用文献

- 1) Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL: Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med*, 1989, 17: 1-6.
- 2) Roberts D, Fridén T, Zätterström R, et al.: Proprioception in people with anterior cruciate ligament-deficient knees: comparison of symptomatic and asymptomatic patients. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1999, 29: 587-594.
- 3) 白石 稔, 水田博志, 久保田健治・他: 前十字靭帯損傷膝及び再建膝における位置覚と片脚立位バランスの関連性について. *日本整形外科スポーツ医学会雑誌*, 1995, 15: 199.
- 4) 岡村良久, 星 忠行, 津田英一・他: 膝前十字靭帯損傷と関節固有感覚. *臨床スポーツ医学*, 2002, 19: 1011-1015.
- 5) Grooms D, Appelbaum G, Onate J: Neuroplasticity following anterior cruciate ligament injury: a framework for visual-motor training approaches in rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2015, 45: 381-393.
- 6) 泰地章公, 岡田祐子, 竹崎 聡・他: 急性期におけるメンタルローテーション介入効果—ACL術後患者を対象に—. *理学療法科学*, 2013, 40: P-A基礎-221.
- 7) 岩佐潤二, 桑田 卓, 蓼沼 拓・他: 前十字靭帯損傷膝と再建膝における膝関節固有感覚の評価と訓練. *運動療法と物理療法*, 2006, 17: 202-208.
- 8) Fremerey RW, Lobenhoffer P, Zeichen J, et al.: Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament: a prospective, longitudinal study. *J Bone Joint Surg Br*, 2000, 82: 801-806.
- 9) 濱田裕幸, 平野好幸, 須藤千尋・他: 健常者の知覚課題を付与した他動運動の運動関連領域への影響—fMRIによる検証—. *脳科学とリハビリテーション*, 2016, 16: 63.
- 10) 高石 翔, 小坂則之, 濱田 彩・他: 前十字靭帯再建術後症例を想定した膝関節位置覚測定の最小可検変化量と検者内信頼性. *高知県理学療法*, 2018, 25: 51-58.
- 11) Cohen J: Statistical power analysis for the behavioral sciences, 2nd ed. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, 1988.
- 12) 高石 翔, 小坂則之, 濱田 彩・他: 膝前十字靭帯損傷者の関節位置覚には心的時間とスポーツ活動レベルが影響する—重回帰分析による関節位置覚に影響する因子の解析—. *高知県理学療法*, 2017, 24: 45-53.
- 13) Iwasa J, Ochi M, Adachi N, et al.: Proprioceptive improvement in knees with anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res*, 2000, 381: 168-176.
- 14) 澤田優子, 赤木将男, 浜西千秋・他: 人工膝関節置換術の術後関節位置覚の推移とそれに影響を与える因子の抽出. *理学療法科学*, 2008, 23: 279-283.
- 15) 櫻井敬晋, 白田いつか, 成瀬秀夫・他: 前十字靭帯再建術後の回復過程における腫脹の影響. *柔道整復接骨医学*, 2007, 15: 124.
- 16) Torry MR, Decker MJ, Viola RW, et al.: Intra-articular knee joint effusion induces quadriceps avoidance gait patterns. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2000, 15: 147-159.
- 17) Proske U, Gandevia SC: The kinaesthetic senses. *J Physiol*, 2009, 587: 4139-4146.
- 18) Rymer WZ, D'Almeida A: Joint position sense: the effects of muscle contraction. *Brain*, 1980, 103: 1-22.
- 19) Valeriani M, Restuccia D, Di Lazzaro V, et al.: Central nervous system modifications in patients with lesion of the anterior cruciate ligament of the knee. *Brain*, 1996, 119: 1751-1762.
- 20) Kapreli E, Athanasopoulos S, Gliatis J, et al.: Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study. *Am J Sports Med*, 2009, 37: 2419-2426.
- 21) Okuda K, Abe N, Katayama Y, et al.: Effect of vision on postural sway in anterior cruciate ligament injured knees. *J Orthop Sci*, 2005, 10: 277-283.
- 22) Hwang S, Agada P, Kiemel T, et al.: Dynamic reweighting of three modalities for sensor fusion. *PLoS One*, 2014, 9: e88132.