膝感覚固有感覚測定装置の考案と作成

—測定値の信頼性の検討—

*Development of a New Apparatus for Measuring Proprioception of the Knee Joint:
Reliability of Measurement Values*

昇 寛¹⁾ 丸山 仁司²⁾ 高橋 直子¹⁾ 斉藤 琴子³⁾

HIROSHI NOBORI, RPT, MA¹⁾, HITOSHI MARUYAMA, RPT, Ph.D²⁾,
NAOKO TAKAHASHI, RPT¹⁾, KOTOKO SAITO, RPT, MS³⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Seibo Hospital: 2-5-1 Nakaochiai, Shinjuku-ku, Tokyo 161-0032, Japan. TEL +81 3-3951-1111

²⁾ Department of Physical Therapy, International University of Health and Welfare

³⁾ Department of Physical Therapy, Tokyo Metropolitan Rehabilitation Hospital

Rigakuryoho Kagaku 19(4): 299-303, 2004. Submitted Oct. 23, 2003. Accepted Jun. 28, 2004.

ABSTRACT: The objective of this study was the development of a trial apparatus for measuring knee joint proprioception, the verification of the reliability of its measurements, and the appraisal of its potential for clinical use. Two examiners measured knee joint threshold value and position sense of the 20 knees of 10 healthy females. The examination of position sense was from 90 degrees extension at an angular velocity of 0.1 degree/sec, and at 85, 75 and 65 degrees the measured angle difference was measured. Between examiners the reliability of the threshold value was ICC (3,1) = 0.73, and the reliability of position sense was ICC (3,1) = 0.86, showing a high reliability of measurement. The results suggest that the knee joint proprioception measurement apparatus which we designed and built, would be valid for objective assessment.

Key words: knee joint, proprioception measurement apparatus, reliability

要旨: 本研究の目的は、膝関節固有感覚測定装置を試作して、本装置の測定値の信頼性を検証し、臨床応用への可能性を明らかにすることである。健康女性10名の20膝を対象として、2名の検者によって膝関節閾値と位置覚を測定した。閾値検査は膝関節屈曲60°からの伸展運動(角速度0.1°/s)の感知までの時間を測定した。位置覚検査は90°から伸展(角速度1°/s)し、85° 75° 65°での測定誤差角度を測定した。測定値の信頼性は、検者間信頼性において閾値ではICC (3,1) = 0.73で、位置覚ではICC (3,1) = 0.86と高い信頼性を示した。これらの結果、今回考案・作成した膝関節固有感覚測定装置は、客観的評価に有効な測定器であると示唆された。

キーワード: 膝関節, 固有感覚測定装置, 信頼性

¹⁾ 聖母病院 リハビリテーション室: 東京都新宿区中落合2-5-1 (〒161-0032) TEL 03-3951-1111

²⁾ 国際医療福祉大学 理学療法学科

³⁾ 東京都リハビリテーション病院 理学療法科

受付日 2003年10月23日 受理日 2004年6月28日

I. はじめに

整形外科領域の疼痛性疾患においては、変形性膝関節症や慢性関節リウマチによる膝関節疾患が多くみられる。さらに、症状の進行により人工膝関節全置換術（以下、TKAという）の適応となる症例も多い。

膝関節疾患患者やTKA術後患者等の正常歩行や、転倒防止などを考慮する時、関節可動域の獲得や筋力の獲得と同様に関節固有感覚の獲得も重要なリハビリテーション目的の1つと考えられる。正常歩行の遂行、転倒防止には適度な筋緊張とバランス能力が必要である。筋肉の緊張にはまず中枢神経が重要な役割を果たし、ついで前庭機能や視床機能が関与する。さらに、関節の位置や運動方向を瞬時に感知し、それをフィードバックする感覚が重要となる。これが関節固有感覚といえる。

閾値検査や位置覚検査などの関節固有感覚検査は、客観的に評価し得る検査である。“僅かな関節の動き”の認知度を調べる閾値検査や関節角度の認知度を調べる位置覚検査は進行した膝関節疾患患者やTKA等の術後患者の理学療法評価においては、特に重要な評価項目であると考えられる。

しかし、現在一般的に行われている定量性の高い関節固有感覚検査の測定装置としてはKIN/COMやBIODEXのように非常に高価な検査装置であり、また測定に関する操作・設定にも煩雑な準備を要することが多い。関節固有感覚検査は、関節可動域検査や徒手筋力検査などと同

様に実用的検査として日々行われることが望ましいが、このような理由で一般病院などの臨床の現場での定量的測定器の設置は少数で、実用されることが少ないのが現状と思われる。

今回、このような実情を踏まえ、臨床の現場において簡易な操作・設定で測定可能な検査装置を整備することを目的として、独自に膝関節固有感覚測定装置を考案・作成した。さらに当装置で測定した膝関節固有感覚の測定値の信頼性についても検討した。

II. 膝関節固有感覚測定装置について

関節固有感覚検査の実施については一部の研究施設や大学病院などを除いて多くの一般病院などの臨床の現場では装置などを用いない方法での実施が多いと思われる。例えば、検者が被検者に閉眼させ四肢を受動的に一定の位置にさせ、被検者にその位置を言ってもらるか反対側の上下肢でまねをさせる方法¹⁾等で行われてきた。既存の定量的な関節固有感覚測定装置は前述のKIN/COMやBIODEXが存在する。肢を固定するアームが動力を有し等速度で回転する仕組みで、その回転角度や回転速度をパソコンに取り込みデータをデジタル変換し数値化されるという装置が現行では少数施設で用いられている。

今回、考案・作成した膝関節固有感覚測定装置の全体構造を図1に示す。構成は次の通りである。デジタル角度表示測定装置には「膝関節専用筋力訓練・測定システム

図1 股関節固有感覚測定装置全体図

COMBIT CB-2」(ミナト医科学社製)を使用した。牽引動力源として「電動リフトKQ-740V-0092G」(パラマウントベッド社製)、スピード調節変圧計には「LUCON TCM-400B」(トヨスター社製)を使用した。また、アーム牽引には直径2 mmの鋼線ワイヤーを使用した。装置本体は、三連動滑車を等速度で接線上を牽引し、案内溝に沿って走行・移動・停止することを可能とするよう設計した。本体の案内溝を走行する三連可動滑車が1個、可動滑車が1個、固定滑車が2個で電動リフトの動力によりCOMBIT-CB2の下腿取り付けアームを牽引と下降する構造である。検査可能角度は膝関節屈曲 95° ～ 55° の範囲とし、角速度は、 $0.1^{\circ}/s$ ～ $1^{\circ}/s$ の範囲で調節可能なものとした。アームの角速度の一定性を確認する装置として「パネルPCL;光センサー型タイマー」(キーエンス社製)を電動リフトのスイッチに取り付けて用いた。装置本体の素材は硬性アクリル製材を使用し、各々の装置は、全て取り外し可能なものとした。

なお、装置本体については現在、特許出願中である。

III. 対象と方法

1. 被検者について

被検者は若年健常女性10名であり、20膝を対象とした。平均年齢は 19.5 ± 0.5 歳、平均身長は 160.7 ± 3.9 cm、平均体重は 52.2 ± 3.3 kgであった。

被検者全員に事前に検査の内容を説明し検査についての同意を得た。

2. 閾値の測定方法

被検者はCOMBIT CB-2に端座位となり、膝関節屈曲 60° にアームを設定した。視覚刺激・聴覚刺激を除き、屈曲 60° の位置より他動的に角速度 $0.1^{\circ}/s$ で伸展方向に牽引し、被検者は僅かな動きでも感知したら、その地点で検者に口頭で知らせ、検者はその感知までの時間を測定した。検査は両側に対して実施した。

被検者10名20膝に対して、1回の検査で3回測定し、感知までの時間(秒)の平均値を算出し、解析した。

3. 位置覚の測定方法

被検者はCOMBIT CB-2に端座位となり、膝関節下垂位(屈曲 90°)にアームを設定した。視覚刺激・聴覚刺激を除き、屈曲 90° の位置より他動的に角速度 $1^{\circ}/s$ で伸展方向に牽引し、検査角度を1回目が屈曲 85° 、2回目が屈曲 75° 、3回目が 65° とした。各回5秒間その位置で静止し、

その位置を記憶するように指示した。指示の後、 90° に戻し、再び角速度 $1^{\circ}/s$ で伸展方向に牽引し、被検者は先に記憶した位置に到達したと感知した地点で検者に口頭で知らせ、検者はその角度の誤差を測定した。検査は左右両側に対して実施した。予備練習を2回行い、引き続き本検査を実施した。

被検者10名20膝に対して1回の検査で3地点(屈曲 85° 、 75° 、 65°)について検査し、角度の誤差の平均値を算出し、解析した。

尚、学習効果の排除と検者間の信頼性を調べる目的で、両検査とも検者A、Bによって7日間あけて実施した。

4. 統計処理

膝関節固有感覚(膝関節閾値・位置覚)の検者内・検者間信頼性については級内相関係数によって検討した。統計ソフトは「SPSS 10.0J for windows」を使用した。

IV. 結 果

1. 閾値の検査結果と信頼性について(表1)

被検者10名20膝に対して行った閾値検査における感知までの時間の平均は、検者Aによる検査では 7.3 ± 1.7 秒で、検者Bによる検査では 6.7 ± 1.7 秒となった。

検者内信頼性係数は検者Aの測定においては、 $ICC(1,1) = 0.87$ 、検者Bの測定においては、 $ICC(1,1) = 0.88$ であった。

また、検者間信頼性係数は $ICC(3,1) = 0.73$ となり、高い信頼性を示した。

2. 位置覚の検査結果と信頼性について

被検者10名20膝に対して行った位置覚検査における誤差角度の平均は、検者Aによる検査では、 $1.9 \pm 1.2^{\circ}$ で、検者Bによる検査では、 $1.7 \pm 1.2^{\circ}$ となった。

検者内信頼性係数は検者Aの測定において $ICC(1,1) = 0.88$ であり、検者Bの測定においては $ICC(1,1) = 0.89$ であった。

また、検者間信頼性係数は $ICC(3,1) = 0.86$ で、位置覚においても高い信頼性を示した。

また、10名20膝における閾値と位置覚の関連については、検者Aによる閾値検査の平均値と位置覚検査の平均値との関連は $r = 0.89$ ($p < 0.01$)、検者Bによる閾値検査の平均値と位置覚検査の平均値との関連は $r = 0.69$ ($p < 0.01$)といずれも有意な相関を示した。

表1 膝関節固有感覚検査結果

a. 検者内信頼性

検者 A (n=20)

	1 st	2 nd	3 rd	ICC(1,1)
閾値	7.7 ± 1.7	7.4 ± 1.8	6.9 ± 1.5	0.87
位置覚	2.3 ± 1.2	2.0 ± 1.2	1.7 ± 1.1	0.88

検者 B (n=20)

	1 st	2 nd	3 rd	ICC(1,1)
閾値	7.0 ± 1.9	6.5 ± 2.1	6.4 ± 1.9	0.88
位置覚	1.8 ± 1.5	1.8 ± 1.3	1.5 ± 1.2	0.89

(注) 閾値の単位は (°), 位置覚の単位は (°).
位置覚の 1st, 2nd, 3rd はそれぞれ 85°, 75°, 65°
での誤差.

b. 検者間信頼性

閾値検査

被検者 (10 人 20 例下肢) の感知までの時間 (3 回の平均)

検者 A が測定した感知までの時間 : 7.3 ± 1.7

検者 B が測定した感知までの時間 : 6.7 ± 1.7

検者間信頼性係数 ICC(3,1)=0.73

位置覚検査

被検者 (10 人 20 例下肢) の測定誤差角度

(85°, 75°, 65° の 3ヶ所の平均誤差角度)

検者 A が測定した平均誤差角度 : 1.9 ± 1.2

検者 B が測定した平均誤差角度 : 1.7 ± 1.2

検者間信頼性係数 ICC(3,1)=0.86

(注) 閾値の単位は (°), 位置覚の単位は (°).

V. 考 察

1. 膝関節固有感覚測定装置についての検討

膝関節固有感覚測定装置については, 現在KIN/COM, BIODEX等が開発され, 多くの臨床家や研究者らによって用いられている。また, 先行研究においては, Remediosら²⁾が電気角度計を両膝に装着して測定する方法で行っている。Lattanzioら³⁾はPenny & Gilesの電気角度計を用いて静的膝角度の再現性を調べた。Barettら⁴⁾は模型膝で設定角度の再現性検査装置として工夫した。

今回, 筆者らはSkinnerら⁵⁾, Lephartら⁶⁾, Corriganら⁷⁾の用いた接線牽引モデルを参考に, 独自の構造・システムを考案し, 装置を作成した。膝関節固有感覚測定装置は, いわゆる閾値と位置覚を測定可能なものとして設計した。

本装置の特徴の第1は, アームの角速度を一定にするための“接線での牽引”を可能とする弧と滑車の構造である。前述のSkinnerら⁵⁾, Lephartら⁶⁾, Corriganら⁷⁾の研究において接線で牽引することは述べられているが, 動力と構造物の連結方法など全体のシステムについては触れられていない。そこで, 我々は弧の形状の案内溝をつくり, その中を三連滑車が走行する構造を独自に考案して作成し“接線での牽引”を実現した。

特徴の第2は, 角速度確認のための「光センサー型タイマー」による“時間と回転角度の連動システム”である。“接線での牽引”によってアームの角速度を一定にすると同時に“時間と回転角度の連動システム”により,

簡便な方法で角速度の設定と変更を可能とした。

2. 膝関節固有感覚検査の測定値と信頼性の検討

今回, 考案・作成した装置の測定値と信頼性を確認することを目的として, 若年健常女性10名20膝を対象に膝関節固有感覚(閾値・位置覚)の検査を実施した。

まず, 閾値検査の測定値については感知までの時間の平均値が6~7秒程度の範囲であった。先行研究では, Skinnerら⁵⁾が膝関節屈曲60°からの動きの感知を測定する実験を行っており, 感知までの時間の平均値が7秒程度であったと報告している。筆者らの行った閾値検査での感知までの時間の平均値とほぼ一致した。

位置覚検査の測定値については, 先行研究における多くが測定誤差角度で検討されている。膝関節位置覚測定はSkinnerやBarrackら⁵⁾によって多く報告されており, 測定誤差角度は2°~5°程度としている。筆者らの行った位置覚検査では, 検者A, Bの測定した測定誤差角度の平均値が1.7°~1.9°の範囲であり, 先行研究と比較して優良な測定値を得た。

以上のように優良な測定値を得ることができたのは, 両検査で実施した“遅い角速度”に起因していると考えられる。先行研究の多くでは, 閾値検査, 位置覚検査ともその角速度は検者によって異なっているのが現状である。Skinnerら⁵⁾は閾値検査を角速度0.5°/sで, 位置覚検査を角速度10°/sで実施している。Marks⁸⁾も位置覚検査を10°/sで実施している。高取ら⁹⁾の研究では「角速度の増加に伴い認知角度も増大する」とし, 原因として被検者

が実際に運動認知してから口頭で表出するまでに時間的遅延が生じ、それが角速度の増加とともに認知角度の増加として表れたものと考えた。筋紡錘の運動速度の認知についての研究でWeilerら¹⁰⁾は、「筋紡錘は運動探知を請け負う受容器で $0.01^{\circ}/s$ の動きを理論上感知できる。」と報告している。いかに迅速な運動認知ができたとしても反応表示までの時間が小さくなければ精度に欠ける。換言すれば、運動認知と反応表示までの時間が小さいほど測定値の精度は高いといえる。閾値検査においても位置覚検査においても、より遅い速度での検査が“運動認知”と“反応表示”間のTime lagに伴う角度誤差を小さく出来ると考えられる。

これらの知見を踏まえ、今回考案・作成した本装置のアームの回転角速度は最小 $0.1^{\circ}/s$ を実現させた。このことは、より高い精度の関節固有感覚検査の不可欠の条件と考え、装置の考案・作成にあたり最重要課題とした。

次に、信頼性については膝関節固有感覚（閾値・位置覚）における2名の検者A、Bの検者内信頼性係数、及び検者間信頼性係数を調べた。検者内信頼性ではICC (1,1) = $0.87 \sim 0.89$ 、検者間信頼性ではICC (3,1) = $0.73 \sim 0.86$ と閾値検査、位置覚検査においてともに高い信頼性を示した。

測定値の信頼性を調査した研究では、Latteanzioら³⁾の報告がある。TKAを施行したグループ20膝とTKAを施行しないグループ20膝の位置覚再現性検査を実施したところ、それぞれの信頼性係数ICCは 0.92 、 0.60 であったと報告している。また、Kieferら¹¹⁾は23人の健常男性と17名の健常女性を被検者として 15° 、 30° 、 45° 、 60° での位置覚再現検査を行い、2回行った検査の信頼性係数が $ICCs < 0.67$ であったと報告している。

筆者らの得た信頼性係数をLandisら¹²⁾の判定基準により照らしても、substantial ($0.61 \sim 0.80$) ~ almost perfect ($0.81 \sim 1.00$) の範囲で高い信頼性といえる。

高い信頼性を得られたことは、今回考案・作成した装置での測定値に客観性があることを示すもので、「操作的

に定義された手続きに従って測定を行えば、誰でも同じように測ることができる¹³⁾」ことを示唆するものである。これらの高い信頼性は本装置の有用性を裏付けるもので、臨床評価に有効な測定器であると考えられる。

引用文献

- 1) 田崎義昭, 斎藤佳雄: ベッドサイドの神経の診方. 南山堂, 東京, 2000, p95.
- 2) Remedios L, Morris M, Bendrups A: Reduced static proprioception of the knee joint following anterior cruciate ligament reconstruction. *Physiotherapy Canada*, 1998, **Fall**: 299-308.
- 3) Lattanzio PJ, Chess DG, MacDermid JC: Effect of the posterior cruciate ligament in knee-joint proprioception in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 1998, **13**(5): 580-585.
- 4) Barrett DS, Cobb AG, Bentley G: Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg*, 1991, **73B**: 53-56.
- 5) Skinner HB, Barrack RL, Cook SD, et al.: Joint position sense in total knee arthroplasty. *J Orthop Res*, 1984, **1**: 276-283.
- 6) Simmons S, Lephart S, Rubash H, et al.: Proprioception following total knee arthroplasty with and without the posterior cruciate ligament. *J Arthroplasty*, 1996, **11**(7): 763-768.
- 7) Corrigan JP, Cashman WF, Brady MP: Proprioception in the cruciate deficient knee. *J Bone Joint Surgery*, 1992, **74B**: 247-250.
- 8) Marks R: Within-subject variability associated with repeated measurements of knee position sense in an osteoarthritic sample: Implications for researchers and clinicians. *Physiother Canada*, 2001, **Fall**: 276-281.
- 9) 高取克彦, 小室 透, 山下堅志・他: 肩関節運動覚測定における検討. 第37回近畿理学療法士学会誌, 1997: 72-73.
- 10) Weiler HT, Pap G, Awiszus F: The role of joint afferents in sensory processing in osteoarthritic knees. *Rheumatology*, 2000, **39**: 850-856.
- 11) Kiefer G, Forwell L, Kramer J, et al.: Comparison of sitting and standing protocols for testing knee proprioception. *Physiotherapy Canada*, 1998, **Winter**: 30-34.
- 12) Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 1977, **33**: 159-174.
- 13) 谷 浩明: 評価の信頼性. 理学療法科学, 1997, **12**(3): 113-120.