

편측 무릎인공관절수술 후 초기 재활과정에서 다리 에르고미터 적용 시 양다리 근활성도 비교

최은지 · 이상열¹ · 석힘^{2,6} · 윤성영^{3,6} · 허재석^{4,6} · 이승훈^{5,6†}

해운대부민병원 스포츠재활센터, ¹경성대학교 물리치료과, ²해운대자생한방병원
³동주대학교 물리치료과, ⁴인제대학교 부산백병원, ⁵좋은강안병원
⁶경성대학교 대학원 물리치료학과

Comparison of Muscle Activity of Both Lower Extremities When a Lower Extremity Cycle Ergometer is Applied During Initial Rehabilitation After Unilateral Total Knee Arthroplasty

Eunji Choi, P.T., M.S. · Sangyeol Lee, P.T., Ph.D.¹ · Him Seok, P.T., M.S.^{2,6} ·
Sungyoung Yoon, P.T., M.S.^{3,6} · Jaeseok Heo, P.T., M.S.^{4,6} · Seunghoon Lee, P.T., M.S.^{5,6†}

Haeundae Bumin Hospital, Sports Rehabilitation center

¹Department of Physical Therapy, Kyungsoong University

²Department of Physical Therapy, Haeundae Jaseng Hospital Korean Medicine,

³Department of Physical Therapy, Dongju University

⁴Department of Physical Therapy, Inje University Busan Paik Hospital, Rehabilitation center

⁵Department of Physical Therapy, Good GangAn Hospital

⁶Department of Physical Therapy, Graduate School, Kyungsoong University

Received: June 17, 2022 / Revised: July 6, 2022 / Accepted: July 7, 2022

© 2022 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: The purpose of this study was to determine the asymmetrical difference between the use of leg muscles on the surgical and non-surgical sides during initial lower extremity ergometer exercise after unilateral knee arthroplasty.

Methods: Twelve elderly patients diagnosed with degenerative arthritis of the knee and who underwent unilateral arthroplasty were included in this study. The leg length of each subject was taken into account when setting the application distance of the lower extremity ergometer. The same pedal resistance, strength, and speed were used for all the subjects. The total angle of use of the ergometer (360°) was analyzed by dividing it into an extension section and a flexion section. Using a surface electromyography system, the activities of the muscles of the surgical and non-surgical sides were converted into maximal voluntary isometric contraction (MVIC) and analyzed using the paired t-test.

†Corresponding Author : Seunghoon Lee (hoongns1@hanmail.net)

Results: When the activities of the muscles on the surgical and non-surgical sides were compared, it was found that the rectus femoris and biceps femoris had significant differences in the flexion and extension sections ($p < .05$), and that the tibialis anterior significantly differed in the flexion section ($p < .05$). There was no significant difference in the extension section of the tibialis anterior muscle, or in the flexion and extension sections of the gastrocnemius ($p > .05$).

Conclusion: The results of this study confirm that the rectus femoris, tibialis anterior, biceps femoris, and gastrocnemius on the surgical side act in an opposite manner to those on the non-surgical side during pedaling in the same section.

Key Words: Total Knee Arthroplasty, Cycle ergometer, Muscle Activity

I. 서론

최근 우리나라의 급격한 노령화가 진행되면서, 2021년 65세 이상 노인인구의 비율은 전체 인구의 16.5%를 차지하고 있고 2025년에는 20.3%에 이르러 초고령사회에 진입할 것으로 예측된다(Statistics Korea, 2021). 이러한 인구의 고령화로 증가하는 여러 가지 노인문제 중 가장 흔한 것은 노인 질환인 골관절염으로(Hur et al., 2008), 65세 이상 인구에서 53%의 유병률을 나타내는 일반적인 퇴행성 관절 질환이고 노인의 기능 장애의 주요 원인으로 삶의 질을 감소시키는 대표적인 만성 질환이다(Segal & Robert, 2012). 골관절염은 모든 관절에서 발생할 수 있지만 특히 체중부하가 많은 무릎 관절에서 흔하게 발생한다(The Korean orthopaedic association, 2002).

무릎 관절은 정강넙다리관절, 무릎넙다리관절로 구성되어 있고, 약간의 축돌림과 굽힘, 폼이 일어나는 자유도(degree of freedom) 2도의 관절 형태이다(Neumann, 2010). 무릎 관절에서의 골관절염은 관절연골의 마모와 근육 강직, 통증을 유발하는 만성 퇴행성 질환으로 통증의 발생과 관절가동력 같은 기능의 저하와 신체활동의 제한으로 일상생활의 독립적인 수행을 어렵게 한다(Brody, 2015; Fukagawa et al., 2012). 퇴행성 무릎 골관절염 치료를 대표하는 수술로 무릎 인공관절수술이 있으며, 무릎 골관절염 환자의 건강 관련 삶의 질을 향상시키기 위해 시행한다(Ethgen et al., 2004). 인구 고령화 및 관절염 질환 및 관절 퇴행의

증가하는 유병률로 인해 향후 무릎인공관절수술은 더욱 증가할 것이다(Badley & Crotty, 1995, Birrell et al., 1999). 우리나라 국민건강보험공단의 주요수술통계 연보 자료를 분석한 결과에 의하면 퇴행성 골관절염을 포함하는 무릎 관절증으로 인한 무릎인공관절수술이 2015년 57,011건, 2017년 66,423건, 2019년 75,044건으로 계속해서 증가하는 추세이다(National Health Insurance Service, 2020).

무릎인공관절수술 후에도 다양한 문제들이 존재한다. 환자는 수술한 다리의 무릎 근력 감소와 무릎 폼의 가동 범위 제한을 특징으로 하는 비대칭적인 움직임 패턴을 겪게 된다(Boonstra et al., 2010; Hatfield et al., 2011; Meretta et al., 2006; Yoshida et al., 2012). 또한 수술 후 20%는 지속적으로 무릎에 통증을 느껴 반대쪽 다리에 체중을 실게 되는 비대칭적인 체중부하가 발생한다(Christensen et al., 2018). 결과적으로 수술한 무릎의 통증과 관절가동범위의 제한, 근력약화는 균형능력을 감소시킨다(Christensen et al., 2018; Harato et al., 2010). 무릎인공관절수술 후 관절강직을 막고 관절가동범위를 증가시키기 위해 무릎 관절의 지속적 수동 운동(CPM)이 초기에 실시되고 이후에 일반적으로 무릎 관절 폼근의 비체중 부하 운동 및 자전거타기 등의 운동치료가 함께 시행되고 있다(Yim et al., 2009). 특히, 다리 에르고미터 운동은 무릎인공관절수술 후 흔히 권장되며, 무릎의 기능 및 균형 개선을 위한 재활 운동으로 시행한다(Hummer et al., 2021). 에르고미터 운동은 누구나 안전하게 즐길 수 있는 유산소 운동으

로 심폐 기능을 발달시키고, 체중 부하에 비해 관절에 대한 부하가 낮으며, 다리의 작용근과 반작용근을 일정하게 교대로 활성화시켜 협응 능력에 도움을 준다(Fujiwara et al., 2005; Hancock et al., 2011; Kutzner et al., 2012). 또한 에르고미터 운동은 비대칭적인 무릎 기능 및 다리 근력을 대칭적으로 조절해주고 신체의 기능을 향상시킨다(Katz-Leurer et al., 2006; Yin et al., 2016). 에르고미터 운동은 다리 관절에서 굽힘과 펴기 반복적으로 일어나며, 이는 굽힘구간(Flexion section)과 펴기구간(Extension section)으로 나뉘는데, 굽힘구간에는 뒤넙다리근과 앞정강근이 주도적으로 작용하고, 펴기구간에는 넙다리내갈래근과 장딴지근이 주도적으로 작용한다(Fujiwara et al., 2003). 이러한 페달링 동안의 근육 활동 패턴은 보행을 포함한 이동의 패턴과 유사하다(Christensen et al., 2000; Raasch & Zajac, 1999). 그러나 무릎인공관절수술 후 다리 에르고미터 운동은 수술측 다리의 통증과 무릎 기능 약화로 인해 페달링 시 수술측과 비수술측 다리에서 생체역학적 차이를 보인다고 하였다(Hummer et al., 2021). 그러므로 무릎인공관절수술을 받은 환자들에게 에르고미터 운동 적용시 비대칭적 페달링에 대한 주의가 필요하며, 환자 또한 정확한 페달링에 대한 인식이 필요하다고 하였다(Buddhadev et al., 2018).

무릎인공관절수술을 받은 환자들의 수술 후 재활과 관련된 선행 연구에서는 수술 후의 운동시기에 따른 효과를 비교하거나, 강제유도 운동치료를 기반으로 한 균형훈련이나 근력강화를 동반한 밸런스 운동이 통증, 근력, 관절가동범위, 균형능력에 미치는 영향을 확인하고, 가상현실이나 로봇을 활용한 훈련이 보행 주기에 미치는 영향을 확인하는 등, 운동 후 근력과 균형, 기능에 대한 효과를 확인한 연구는 많았으나, 흔히 권장되고 있는 다리 에르고미터 운동 시 활성화 되는 다리 근육에 대한 연구는 미비하였다(Fukaya et al., 2021; Lim, 2016; Lee et al., 2018; Park, 2016; Yoon & Son, 2020). 본 연구에서는 편측 무릎인공관절수술을 받은 환자들의 초기 다리 에르고미터 운동 시 수술측과 비수술측 다리에서 나타나는 근육 사용의 비대

칭적인 차이를 확인하고 임상에서 활용할 수 있는 기초자료를 제시하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 퇴행성 무릎 골관절염 진단을 받고 편측 무릎인공관절수술을 시행한 12명의 노인 환자를 대상으로 하였다. 본 연구에 참여한 대상자는 신경계 질병을 진단 받았거나 당뇨와 심폐질환 등의 본 연구에 영향을 미칠 수 있는 질병이 있는 경우는 대상자에서 제외하였으며, 본 연구의 목적을 이해하고 자발적으로 동의한 자에 한하여 선정하였다. 모든 대상자는 수술 후 1주일이 경과한자로 하였다. 연구에 참여한 대상자의 평균 연령은 68.75 ± 3.65 세, 평균 체중은 63.75 ± 5.36 kg, 평균 신장은 163.25 ± 6.35 cm였다.

2. 측정방법 및 도구

1) 근활성도 측정

다리 에르고미터 적용 시 양다리의 근활성도 측정을 위해 표면 근전도 시스템(Myosystem TM DTS, Noraxon Inc., USA)을 사용하였다. 측정된 결과는 근전도 분석 프로그램(Biomechanical analysis software MR 3.8, Noraxon Inc., USA)을 이용하여 분석하였다. 표면 전극은 Ag/AgCl 전극(IWC-DTS, 9113A-DTS, Noraxon Inc., USA)을 사용하였다. 측정된 근전도 신호의 샘플링 추출 속도는 1024Hz로 설정하였고, 대역통과필터(Band pass filter)를 사용하였으며 범위는 20~500Hz로 설정하였으며 60Hz 노치필터(notch filter)를 적용하였다. 수집된 신호는 RMS(Root Mean Square) 값으로 정량화 하였다. 자료 분석을 위해 각각의 근육은 실험 참가 전 비수술측의 최대등척성수축을 측정하고, 이를 기준으로 수술측과 비수술측 근육을 maximal

voluntary isometric contraction (MVIC)로 환산하여 본 연구의 분석에 사용하였다.

3. 실험 절차

본 연구에서 분석에 사용된 근육은 넙다리곧은근(rectus femoris), 넙다리두갈래근(biceps femoris), 앞정강근(tibialis anterior), 장딴지근(gastrocnemius)으로 하였다. 다리 에르고미터의 적용 거리는 각 대상자의 다리 길이를 고려하여 가장 높은 곳에 페달이 도달하는 시점에 무릎관절 굽힘 각도 90° 가 되도록 하였다. 페달 저항값은 최저 기준 저항 25N이고, 강도는 0으로 설정하였으며, 각 대상자의 에르고미터 사용 속도를 제어하기 위하여 메트로놈을 이용하여 80BPM으로 일정하게 움직일 수 있도록 하였으며 적용 속도를 충분히 숙지한 후 측정을 실시하였다. 대상자의 페달링 동작과 근활성도 측정화면을 동시에 동영상으로 촬영하여 전체 에르고미터 사용 각도인 360° 를 펴구간(페달이 가장 높은 곳에서 가장 낮은 곳에 이르는 구간)과 굽힘구간(페달이 가장 낮은 곳에서 가장 높은 곳에 이르는 구간)으로 나누어 분석하였으며(Fig. 1), 5주기의 페달링을 측정하여 중간 3주기를 분석에 사용하였다.



Fig. 1. Section setting for this study.

4. 자료 분석

본 연구에서 얻어진 데이터는 통계프로그램 SPSS 25.0(IBM SPSS Inc. USA)을 사용하여 통계 처리하였다. 모든 데이터는 소수점 3자리에서 반올림하여 소수점 2자리까지 표기하였으며 양다리의 근활성도를 비교하기 위하여 대응표본 t검정(Paired t-test) 실시하였다. 통계적 유의 수준 α 는 0.05로 하였다.

III. 연구 결과

1. 다리 에르고미터 적용시 수술측과 비수술측 다리 근육의 근활성도 비교

다리 에르고미터 적용시 수술측과 비수술측 넙다리곧은근의 근활성도를 비교한 결과, 펴구간과 굽힘구간에서 수술측과 비수술측 간에 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 앞정강근의 근활성도를 비교한 결과, 펴구간에서 수술측과 비수술측 간에 유의한 차이가 없었고($p > 0.05$), 굽힘구간에서는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 장딴지근의 근활성도를 비교한 결과, 펴구간과 굽힘구간에서 수술측과 비수술측 간에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 넙다리두갈래근의 근활성도를 비교한 결과, 펴구간과 굽힘구간에서 수술측과 비수술측 간에 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$)(Table 1)(Fig. 2).

IV. 고찰

무릎인공관절수술은 수술 후 회복 과정에서 수술한 다리의 근력 감소와 무릎의 가동 범위의 제한을 특징으로 하는 비대칭적인 움직임 패턴을 겪게 되고(Boonstra et al., 2010; Hatfield et al., 2011; Meretta et al., 2006; Yoshida et al., 2012), 염증, 통증 및 부종 등의 문제점으로 인해 비수술측 다리에 체중을 싣게 되는 비대칭적 체중부하가 발생한다(Christensen et al., 2018). 결과적으로 수술한 무릎은 초기 재활 과정에서

Table 1. Comparison of muscle activities of both leg by section (n=12, unit : %MVIC)

Muscle	Section	Normal side	Replaced side	t	p
Rectus Femoris	Extension section	67.63±23.00 [†]	42.50±10.61	-3.97	0.00*
	Flexion section	44.45±15.04	59.98±11.71	2.43	0.03*
Tibialis Anterior	Extension section	48.38±14.11	48.11±15.95	-0.43	0.96
	Flexion section	64.29±9.53	55.12±8.02	-3.12	0.01*
Gastrocnemius	Extension section	60.29±14.92	60.85±13.89	0.09	0.93
	Flexion section	67.88±17.08	53.32±23.47	-1.77	0.11
Biceps Femoris	Extension section	45.47±17.36	63.41±15.28	2.50	0.03*
	Flexion section	72.69±31.49	42.47±19.31	-2.84	0.02*

[†]mean±SD, *p<0.05

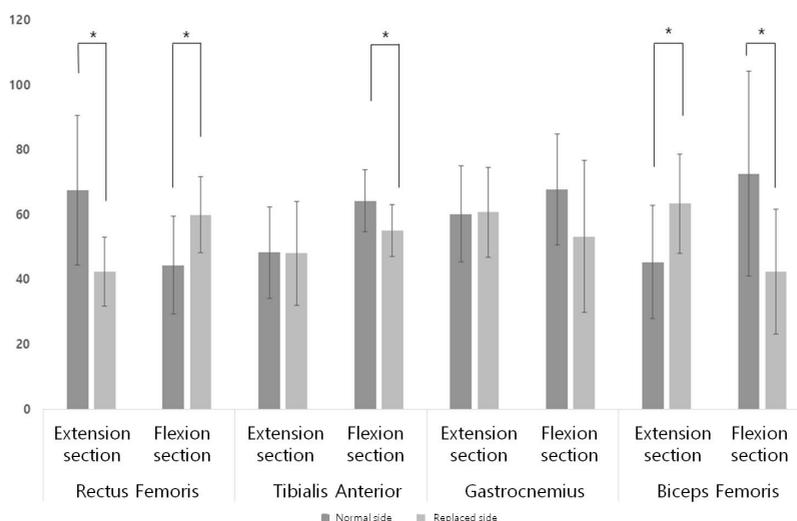


Fig. 2. Comparison of muscle activities of both leg by section.

통증의 발생과 관절가동범위의 제한, 근력약화, 균형 능력의 감소가 발생한다(Christensen et al., 2018; Harato et al., 2010). 다리 에르고미터 운동은 무릎인공관절수술 후 흔히 권장되는 재활 운동이지만, 수술측 다리의 통증과 무릎 기능 약화로 인해 폐달링 시 수술측 다리와 비수술측 다리에서 생체역학적 차이가 나타난다고 하였다(Hummer et al., 2021). 이에 따라 본 연구에서는 편측 무릎인공관절수술을 받은 환자들의 초기 다리 에르고미터 운동 시 수술측과 비수술측 다리에서 나타나는 근육 사용의 비대칭적인 차이를 확인하고 임

상에서 활용할 수 있는 기초자료를 제시하고자 하였다.

다리 에르고미터 적용시 수술측과 비수술측 넵다리골은근의 근활성도를 비교한 결과에서 폼구간에서는 비수술측이, 굽힘구간에서는 수술측이 비교적 높은 근활성도를 보였다. 앞정강근의 근활성도 비교에서는 굽힘구간에서 비수술측의 비교적 높은 근활성도를 보였고, 장딴지근의 근활성도 비교에서는 두 구간에서 차이를 보이지 않았다. 넵다리두갈래근의 근활성도 비교에서는 폼구간에서 수술측의 비교적 높은 근활성도를 보였고, 굽힘구간에서 비수술측의 높은

근활성도를 보여 측정된 대부분의 근육에서 수술측과 비수술측의 비대칭적인 근활성도를 나타냈다.

Wi(2011)는 퇴행성 무릎 골관절염을 동반한 인공관절 수술 환자들은 통증, 다리 근육의 약화, 운동성 소실, 고유수용성감각기능이 저하 되어 있다고 하였고, Mizner 등(2005)은 수술 1개월 후 넙다리네갈래근의 수의적 수축과 횡단면 감소, 그리고 60%의 근력 감소를 보인다고 하였다. 그리고 Judd 등(2012)은 무릎 펴 근육뿐만 아니라 무릎 굽힘근도 수술 전에 비해 근력의 50~60%가 약화되고 발목 관절의 발바닥 굽힘근과 발등 굽힘근에서도 근력의 감소가 나타난다고 보고하였다. 이러한 수술 후 문제점들에 대한 중재로서 에르고미터의 적용은 정강넙다리의 접촉력과 인대의 긴장에 대한 낮은 요구로 인해 안전하게 근력 및 기능을 향상시키기 위한 재활프로그램으로 권장되며 (Kutzner et al., 2012), 수동관절운동이 아닌 능동관절운동의 적용으로 근력 향상에 효과적인 접근을 한다 (Neumann, 2010). 일반적인 에르고미터의 적용시 양다리의 구간별 근활성도는 대칭적이며, 선행 연구에 따르면 본 연구와 동일한 구간을 선정하지는 않았지만 펴구간에서는 넙다리곧은근과 장딴지근을 주도적으로 작용하고, 굽힘구간에서는 넙다리두갈래근과 앞정강근이 주도적으로 작용한다(Fujiwara et al., 2003).

하지만 본 연구의 결과, 에르고미터의 펴구간에서 페달을 밀기 위하여 주도적으로 작용하여야 할 수술측 넙다리곧은근의 근활성도가 비교적 낮은 것은 통증으로 인해 주도적으로 사용하기 어렵고, 이를 보완하기 위하여 굽힘구간에 있는 비수술측 넙다리두갈래근의 작용에 의존하여 수동적으로 관절운동을 하고 있기 때문인 것으로 생각된다. Hummer 등(2021)의 연구에서도 수술측의 무릎 관절 펴 모멘트와 페달을 밀기 위한 반발력이 비수술측에 비하여 약했다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 또한 굽힘구간에서 이완되고 있어야 하는 펴근인 넙다리곧은근의 근활성도가 비수술측에 비하여 수술측이 높게 나타난 결과는 무릎 굽힘에 따른 통증으로 인하여 이완되지 못하면서 넙다리곧은근을 편심성으로 수축하여 굽힘

을 최소화하려는 노력을 통해 제한되어 있는 수술측의 관절가동범위를 조절하려는 노력이 비교적 높은 근활성으로 나타난 것으로 생각된다. 따라서 무릎인공관절 수술 후 초기 에르고미터 운동시 수술측 넙다리곧은근은 페달링 구간에 따른 일반적인 근육 활동 패턴과 일치하는 근활성도를 보이지 못하여 향후 재활에서 부정확한 수축을 발생시킬 우려가 있을 것으로 생각된다. 넙다리두갈래근 또한 넙다리곧은근과 동일한 패턴을 보이고 있다. 주동적으로 작용하여야 할 굽힘구간에서는 비수술측에 비하여 수술측이 현저히 낮은 활성도를 보이고 있으며, 펴구간에서는 통증으로 인하여 이완되지 못하고 관절가동범위를 최소화하기 위해 지속적인 수축을 보이고 있다. 페달링에 따른 관절 움직임과 근육 활동 패턴의 불일치는 능동운동의 효과를 발생시키는 것에 제한이 있을 것으로 생각된다. 또한 수술측의 넙다리두갈래근과 넙다리곧은근은 각 작용 구간에서 비수술측의 보조를 받고 있는 것으로 판단된다. 보조를 받고 있는 수술측의 무릎 관절 움직임은 수동적인 움직임에 더욱 가깝다는 것을 의미한다. 본 연구에서 발목 관절 근육 활동의 경우, 무릎인공관절 수술 후 에르고미터 운동시 많은 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 비수술측의 앞정강근 활성도가 굽힘구간에서 유의하게 높게 나타난 것은 동시에 펴구간에 진입한 수술측을 보조하여 수술측의 수동적인 움직임에 도움을 주기 위한 것으로 생각된다.

에르고미터 운동시 일반적인 페달링 동안의 근육 활동 패턴은 보행에 작용하는 패턴과 유사하며 (Christensen et al., 2000; Raasch & Zajac, 1999), 이러한 근육 활동 패턴이 일치하도록 운동을 반복 적용하여 운동 프로그램이 저장되도록 초기 습득 단계를 거치는 것은 운동학습을 위해 중요한 요소이다(Lee & Kim, 2012; Paik & Shin, 2010). 하지만 본 연구의 결과, 수술 후 초기 재활에 있어 에르고미터 적용 시 통증으로 인하여 무릎관절의 움직임과 근육의 사용 패턴이 일치하지 못한 것으로 나타났다. 이는 초기 재활에 있어 부정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료되며, 그로 인해 근력과 보행 능력의 향상에 제한이 있을

것으로 사료된다. 향후 무릎관절의 작용과 근육의 사용 패턴이 일치할 수 있는 에르고미터의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 수술 후 1주일이 경과한 12명의 편측 무릎인공관절수술 환자를 대상으로 다리 에르고미터 적용 시 수술측과 비수술측의 다리 근육 활성화도에 대해 알아보았으나, 대상자의 수가 제한적으로 구성되어 일반화에 어려움이 있을 것으로 사료된다. 또한 각 구간별 통증에 대한 측정이 이루어지지 않아 통증과의 직접적인 연관성을 확인하기 어려웠으며, 환자의 노력을 수치화하지 못하고 에르고미터의 자유로운 사용을 측정하여 환자의 적극성을 통일하지 못하였다. 차후 연구에서는 대상자 수의 확대와 통증의 정도, 환자의 적극성에 대한 추가적인 확인을 하고 더욱 세밀하고 명확한 구간측정을 통하여 임상에서 활용할 수 있는 자료로 제시되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 퇴행성관절염 진단을 받고 편측 인공관절수술을 시행한 12명의 노인 환자를 대상으로 초기 다리 에르고미터 운동 시 수술측과 비수술 측 다리에서 나타나는 근육 사용의 비대칭적인 차이를 알아보기 위해 연구하였고, 결과적으로 페달링시 수술측의 넙다리곧은근, 앞정강근, 넙다리두갈래근, 장딴지근은 동일한 구간에서 비수술측 근육과 반대로 작용함을 확인하였다. 향후 무릎관절의 작용과 근육의 사용 패턴이 일치할 수 있는 에르고미터의 개발과 방법의 연구를 통해 무릎인공관절수술 환자들의 빠른 기능회복과 일상생활 복귀를 도울 수 있을 것으로 생각된다.

References

Badley EM, Crotty M. An international comparison of the estimated effect of the aging of the population on

the major cause of disablement, musculoskeletal disorders. *The Journal of Rheumatology*. 1995;22(10):1934-1940.

Birrell F, Johnell O, Silman A. Projecting the need for hip replacement over the next three decades: influence of changing demography and threshold for surgery. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 1999;58(9):569-572.

Boonstra MC, Schwing PJ, De Waal Malefijt MC, et al. Sit-to-stand movement as a performance-based measure for patients with total knee arthroplasty. *Physical Therapy*. 2010;90(2):149-156.

Brody LT. Knee osteoarthritis: clinical connections to articular cartilage structure and function. *Physical Therapy in Sport*. 2015;16(4):301-316.

Buddhadev HH, Crisafulli DL, Suprak DN, et al. Individuals with knee osteoarthritis demonstrate interlimb asymmetry in pedaling power during stationary cycling. *Journal of Applied Biomechanics*. 2018;34(4):306-311.

Christensen JC, Mizner RL, Foreman KB, et al. Quadriceps weakness preferentially predicts detrimental gait compensations among common impairments after total knee arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Research®*. 2018;36(9):2355-2363.

Christensen LO, Johannsen P, Sinkjær T, et al. Cerebral activation during bicycle movements in man. *Experimental Brain Research*, 2000;135(1):66-72.

Ethgen O, Bruyere O, Richy F, et al. Health-related quality of life in total hip and total knee arthroplasty: a qualitative and systematic review of the literature. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2004;86(5):963-974.

Fujiwara T, Liu M, Chino N. Effect of pedaling exercise on the hemiplegic lower limb. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2003;82(5):357-363.

- Fujiwara T, Liu M, Tanuma A, et al. Pedaling exercise for neuromuscular re-education: A review. *Critical Review in Physical and Rehabilitation Medicine*. 2005;17(3).
- Fukagawa S, Leardini A, Callewaert B, et al. Age-related changes in kinematics of the knee joint during deep squat. *Knee*. 2012;9(3):208-212.
- Fukaya T, Mutsuzaki H, Yoshikawa K, et al. Effect of Training With the Hybrid Assistive Limb on Gait Cycle Kinematics After Total Knee Arthroplasty. *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation*. 2021;12(0).
- Hancock NJ, Shepstone L, Rowe P, et al. Clinical efficacy and prognostic indicators for lower limb pedalling exercise early after stroke: Study protocol for a pilot randomised controlled trial. *Trials*. 2011;12(1):68.
- Harato K, Nagura T, Matsumoto H, et al. Extension limitation in standing affects weight-bearing asymmetry after unilateral total knee arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*. 2010; 25(2):225-229.
- Hatfield GL, Hubble-Kozey CL, Wilson JLA, et al. The effect of total knee arthroplasty on knee joint kinematics and kinetics during gait. *The Journal of Arthroplasty*. 2011;26(2):309-318.
- Hummer E, Thorsen T, Weinhandl JT, et al. Knee joint biomechanics of patients with unilateral total knee arthroplasty during stationary cycling. *Journal of Biomechanics*. 2021;115:110111.
- Hur NW, Choi CB, Uhm WS, et al. The prevalence and trend of arthritis in Korea: results from Korea National Health and Nutrition Examination Surveys. *Journal of the Korean Rheumatism Association*. 2008;15(1): 11-26.
- Judd DL, Eckhoff DG, Stevens-Lapsley J. Muscle strength loss in the lower extremity following total knee arthroplasty. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation/Association of Academic Physiatrists*. 2012;91(3):220.
- Katz-Leurer M, Sender I, Keren O, et al. The influence of early cycling training on balance in stroke patients at the subacute stage. results of a preliminary trial. *Clinical Rehabilitation*. 2006;20(5):398-405.
- Kutzner I, Heinlein B, Graichen F, et al. Loading of the knee joint during ergometer cycling: telemetric in vivo data. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2012;42(12):1032-1038.
- Lee HB, Choi HS, Shin WS. Effect of Game-Based Balance Training with CIMT on Pain, Muscle Strength, Range of Motion and Dynamic Balance in Female Patients with Total Knee Replacement. *The Journal of Korean Physical Therapy*. 2018;30(5):159-165.
- Lee J, Kim BR. Role of intensity and repetition in rehabilitation therapy. *Brain & Neurorehabilitation*. 2012;5(1): 6-11.
- Lim SJ. Comparison of the Effect of Postoperative Exercise Onset Timing in Degenerative Knee Osteoarthritis Patient. Daegu University. Dissertation of Doctorate Degree. 2016.
- Meretta BM, Whitney SL, Marchetti GF, et al. The five times sit to stand test: responsiveness to change and concurrent validity in adults undergoing vestibular rehabilitation. *Journal of Vestibular Research*. 2006; 16(4-5):233-243.
- Mizner RL, Petterson SC, Stevens, JE, et al. Early quadriceps strength loss after total knee arthroplasty. *The Journal of Bone & Joint Surgery*. 2005;87(5):1047-1053.
- National Health Insurance Service. 2019 Main Surgery Statistical Yearbook, 1st ed. Wonju. National Health Insurance Service. 2020.
- Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system, 2nd ed. St. Louis. Mosby/Elsevier. 2010.
- Paik NJ, Shin JH. Motor Learning: Basic Concept and Theories. *Brain & NeuroRehabilitation*. 2010;3(2):57-63.
- Park C. The Effects of Balance Exercise Accompanied by Muscle Strengthening on Balance, Muscular Strength,

- WOMAC, Pain and Depression Index of the Elderly who Received Total Knee Arthroplasty. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2016.
- Raasch CC, Zajac FE. Locomotor strategy for pedaling: muscle groups and biomechanical functions. *Journal of Neurophysiology*. 1999;82(2):515-525.
- Segal NA, Robert W. Tolerance of an aquatic power training program by older adults with symptomatic knee osteoarthritis. *Arthritis*. 2012;9:1-9.
- Statistics Korea. 2021 Statistics on the Aged, Daejeon. Statistics Korea. 2021.
- The Korean Orthopaedic Association. Latest Medical History. Korea. The Korean Orthopaedic Association. 2002.
- Wi HN. Change of the functional status of knee joint and fatigue after total knee arthroplasty. Chonnam National University. Dissertation of Dotorate & Master's Degree. 2011.
- Yim SJ, Min KD, Lee YK, et al. (2009). Efficacy of physiotherapist after total knee arthroplasty. *Knee Surgery and Related Research*. 2009;21(4):258-264.
- Yin C, Hsueh YH, Yeh CY, et al. A virtual reality-cycling training system for lower limb balance improvement. *BioMed Research International*. 2016;45(2):547-549.
- Yoon SW, Son HH. Effects of full immersion virtual reality training on balance and knee function in total knee replacement patients: a randomized controlled study. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*. 2020;20(09):2040007.
- Yoshida Y, Zeni Jr J, Snyder-Mackler L. Do patients achieve normal gait patterns 3 years after total knee arthroplasty?. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2012;42(12):1039-1049.