

# Comparison of Isokinetic Parameters of Knee Extensors According to Age and Individualized Joint Angular Velocity in Women

Jeongwoo Jeon<sup>1</sup>, Jonggeun Woo<sup>2</sup>, Suji Lee<sup>2</sup>, Jiheon Hong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Digital Healthcare Institute, Sunmoon University, Asan, Republic of Korea, <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Sunmoon University, Asan, Republic of Korea

**Purpose:** This study examined the changes in the isokinetic variables of knee extensors according to age and individualized joint angular velocity during isokinetic contraction in women.

**Methods:** Fourteen young and fifteen middle-aged and elderly women participated in this study. The knee extension maximum angular velocity for each participant was measured and considered 100% angular velocity. The peak torque (PT) and average power (AP) of the knee extensors were measured during isokinetic contractions at angular velocities of 10%, 40%, 70%, and 100% of the maximum velocity. The changes in PT and AP were compared according to age (young vs. middle-aged and elderly) and angular velocity (10%, 40%, 70%, and 100%).

**Results:** PT and AP at all angular velocities were significantly higher in the young than in middle-aged and elderly women ( $p > 0.05$ ). PT showed a significant decreasing trend as the angular velocity increased. AP was significantly higher at a 40% and 70% angular velocity compared to other angular velocities in young women ( $p > 0.05$ ). In the middle-aged and elderly, AP at 10% angular velocity was significantly lower than at 40%, 70%, and 100% ( $p > 0.05$ ).

**Conclusion:** This study showed that considering the individual's neuromuscular capacity during isokinetic contraction, the ability to generate power in the middle-aged and elderly is reduced significantly even when the angular velocity was set. Hence, improving muscle contraction ability at high angular velocities may be necessary to prevent and treat the muscle function decline caused by aging.

**Keywords:** Aging, Elderly, Isokinetic contraction, Muscular strength, Muscle power

## 서론

노화로 인한 근력 약화, 골격근의 형태학적 변화, 근육량의 감소는 잘 알려져 있는 생리적 현상이다.<sup>1</sup> 노인 인구는 전 세계적으로 증가하고 있는 추세이며, 노화에 따른 근육량 및 근력 감소는 전반적인 건강, 사망률, 의료비 증가에 영향을 미치므로 이를 예방하는 것은 현대 사회에서 해결해야 할 사회적 문제 중 하나이다.<sup>2-5</sup> 특히 노화로 인한 근력 감소는 팔보다 다리에서 더 크게 나타나는데, 이러한 변화는 보행 및 의자에서 일어나기와 같은 일상생활에 영향을 미친다.<sup>1,3,6</sup> 예를 들어, 노화는 대퇴사두근의 II형 근섬유 단면적을 감소시키고, 근육의 수축 및 이완 시간을 증가시킨다. 즉, 절대적인 근력과 근육 수축 속도가 감소하게 된다.<sup>4</sup> 근육 수축 속도는 노화가 진행될수록 그 중요성

이 더욱 강조된다. 특히 남성에 비해 여성은 근육 약화로 인해 기능 및 일상생활에 더 큰 장애를 경험하게 된다.<sup>4</sup> 실제로 노인 여성의 동적 무릎 펌 기능에서 상당히 낮은 수준의 근력이 보고되었다.<sup>5</sup>

저항운동은 노화로 인한 근력 약화를 예방하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 중재방법이다.<sup>1</sup> 저항운동을 가장 효과적으로 수행하기 위해서는 개인의 최대 근력이 우선적으로 확인되어야 한다.<sup>1</sup> 미국 스포츠 의학 대학에 따르면, 동적 근력 검사의 표준은 1회 최대반복 (Irepetition maximum, RM)으로, 한 사람이 한 번 들어올릴 수 있는 최대 무게로 정의된다.<sup>1,7</sup> 그러나 IRM 측정은 상대적으로 근력이 약한 노인, 여성 등에서 부상의 위험이 존재한다는 제한점을 갖고 있다.<sup>8</sup> 이를 대체하기 위한 근력 측정 및 저항운동 방법으로 동력계를 이용한 등속성 근육 수축이 있다.<sup>1,7,9</sup> 등속성 근력은 근육이 일정한

Received September 20, 2024 Revised October 10, 2024

Accepted October 21, 2024

Corresponding author Jiheon Hong

E-mail [hgh1020@hanmail.net](mailto:hgh1020@hanmail.net)

Copyright ©2024 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

관절 각속도를 유지하며 수축하는 동안에 측정되는 토크(torque) 값으로 정의된다.<sup>7,9</sup> 이와 관련하여 등속성 운동은 관절의 모든 운동범위에서 근육에 동적 부하를 제공하는 방법이다.<sup>9</sup> 속도 특이성 이론에 따르면 등속성 운동 시, 각속도가 빨라질수록 파워 증가에 더 효과적이며, 훈련 시 사용되는 각속도와 유사한 각속도에서 근력이 증가되는 경향이 있다.<sup>10</sup> 또한 측정되는 근력은 각속도에 따라 달라지며, 중간속도(예시: 180°/s)에서 최대 근력을 나타내며 느리거나 빠른 각속도에서는 비교적 낮은 수준의 근력이 나타난다.<sup>11</sup> 이와 같은 특성 때문에 등속성 평가는 지레팔에 따라 저항이 바뀌는 등장성 수축 평가에 비해 모든 관절가동범위에서 일정한 저항과 다양한 각속도에서 근수축능력을 평가할 수 있는 방법이다.

최근까지 임상 및 연구 환경에서 사용되는 등속성 수축에서는 60°/s, 180°/s, 240°/s 등 모든 대상자에게 일률적인 관절 각속도가 적용되어 왔다.<sup>12,13</sup> 그러나 등속성 수축에서 사전에 설정된 각속도는 개인의 신경근 특성에 따라 다른 적응을 유도할 가능성이 있다.<sup>13</sup> 즉, 동일한 각속도라고 하더라도 노화로 인해 근육 기능이 감소된 노인 인구에서는 젊은 성인에 비해 더 빠른 속도로 받아들여질 수 있다. 이는 일률적으로 설정된 각속도가 개인의 근력 수준을 고려하지 않은 접근법이라고 할 수 있다. 그러므로 노화로 인한 근력 약화는 설정된 각속도가 상당히 강하게 느껴질 수도 있어 부상 발생의 위험성도 있다. 따라서 본 연구에서는 등속성 수축 시에 개인별 맞춤형된 각속도에 따른 무릎관절 펌근의 등속성 변수 변화를 조사하고자 하였다. 또한 젊은 여성과 중년 및 노인 여성에서 이러한 근육 기능을 비교하고자 하였다.

## 연구 방법

### 1. 연구참가자

단면 연구로 설계된 본 연구에서는 젊은 여성군과 중년 및 노인 여성군이 연속적으로 모집되었다. 표본 크기는 통계프로그램(G-Power 3.1.9.7, Düsseldorf, Germany)을 사용하여 등속성 수축에서 관절 각속도가 증가함에 따라 무릎관절 파워가 감소한다는 이전 연구를 기반으로 계산되었다( $\alpha=0.05$ , power  $[1-\beta\text{-error}]=0.95$ , effect size partial  $\eta^2=0.730$ ).<sup>14</sup> 결과에 따르면 본 연구에는 최소 12명의 표본 크기가 필요하였다. 탈락률 및 검정력을 높이기 위해 이보다 많은 수의 표본이 모집되었다.

연령은 선행 연구에 따라 다음과 같이 분류되었다: 젊은 성인(20-39세), 중년(40-59세), 노인(60세 이상).<sup>12</sup> 대상자 모집은 대학, 지역사회 복지관 및 노인정 게시판에 광고를 통해 모집되었다. 지난 1년 내에 다리 수술이나 외상, 현재의 무릎 통증, 부종, 운동범위 제한 또는 염증성 질환을 가진 자는 본 연구에서 제외되었다. 그 외에 신경학적 및

**Table 1.** General characteristics of participants (n=29)

Variables	Young women (n=14)	Middle-aged and elderly women (n=15)
Age (year)	22.7±2.6 (20-31)	61.0±6.5 (49-68)
Height (cm)	160.5±3.9 (154-170)	156.8±4.3 (148-163)
Body mass (kg)	59.3±9.6 (46.2-84.5)	58.3±7.1 (44.5-69.5)
Body mass Index (kg/m <sup>2</sup> )	23.4±3.9 (18.2-33.0)	23.7±2.2 (18.3-26.3)

Data are presented as mean±standard deviation (range).

심폐 질환 등 연구자에 의해 본 연구 수행에 제한이 있을 것으로 예상되는 자들은 제외되었다. 젊은 여성군 20명과 중년 및 노인 여성군 21명이 본 연구에 모집되었다. 그러나 본 연구 제외기준에 해당하는 4명(젊은 여성군 1명, 중년 및 노인 여성군 3명)이 제외되었다. 또한 젊은 여성군 5명(테이터손실 1명, 연락두절 1명, 개인사유 3명) 및 중년 및 노인여성군(연락두절 2명, 개인사유 1명)이 중도탈락 되었다. 결과적으로 젊은 여성군 14명과 중년 및 노인 여성군 15명에 대한 데이터가 분석에 사용되었다. 참가자들의 일반적 특성은 Table 1에 나타내었다. 본 연구는 대학 내 생명윤리위원회(SM-202104-039-1)의 승인을 받았으며, 모든 실험 절차는 헬싱키 선언을 준수하였다. 모든 참가자는 실험의 목적 및 절차에 대한 정보를 받은 후 서면 동의서에 서명하였다.

### 2. 연구절차

참가자들은 측정을 완료하기 위해 실험실에 한 번 방문하도록 요청 받았다. 참가자들은 측정에 앞서 무릎관절 펌근의 최대 각속도를 측정하였다. 개인의 최대 각속도를 100%로 간주하고 10%, 40%, 70%, 100%의 관절 각속도가 계산되었다. 그 후 개인 맞춤형된 네 가지의 관절 각속도에서 등속성 구심성 수축을 실시하였다. 네 가지의 관절 각속도에서의 등속성 수축 시, 사전에 최대 각속도를 기준으로 계산된 10%, 40%, 70%, 100%의 각속도를 사용하였으며, 동력계의 등속성 모드에서 각각의 관절 각속도를 입력하였다. 각각의 각속도는 개인 최대 각속도 생성 능력의 100%를 기준으로 30%씩 감소하여 10%, 40%, 70%, 100%의 각속도를 설정하였다. 0%는 정지상태임으로 10%가 가장 낮은 각속도로 선정되었다.

### 3. 결과 측정

모든 결과 변수의 측정은 등속성 동력계(HUMAC NORM Testing & Rehabilitation System, CSMI, MA, USA)를 사용하여 완료하였다. 참가자들은 각 측정에 앞서 고정식 자전거를 이용하여 선호하는 속도로 5분 간의 준비운동을 수행하였다. 또한 약 3분간의 휴식 후 친숙화를 위해 최대 이하 참가자 최대 기능의 50% 수축이 실시되었다. 우세 다리(공을 찰 때 사용하는 다리) 무릎관절 펌근의 등속성 근력이 측정되었으며, 참가자들은 가능한 빠르고 강하게 근육을 수축하도록 구

두 격려를 받았다.

측정을 위해 참가자들은 엉덩관절 85° 굽힘 자세로 동력계 의자에 앉았다. 스트랩을 이용하여 몸통과 허벅지가 고정되었고, 두 손으로 의자 옆의 손잡이를 잡았다. 동력계 축은 넙다리뼈의 가쪽관절염기에 정렬되었으며 저항 패드는 안쪽 복사뼈의 3cm 위에 위치하였다. 연구자가 참가자의 무릎관절을 수동적으로 완전히 폼 때의 각도를 0°로 설정하였다.

각 대상자의 무릎관절 폼 최대 각속도를 측정하기 위해 등속성 동력계의 등장성 모드를 사용하였다. 이때 무릎관절의 운동 범위는 90° 굽힘에서 0°(최대 폼)까지였으며, 등장성 모드의 저항은 0(저항 패드 무게만 저항으로 작용)으로 설정되었다. 참가자는 3회의 무릎관절 폼을 실시하였으며, 3번의 시도 중 가장 빠른 시도의 무릎관절 각속도가 최대 각속도로 분석에 사용되었다. 최대 각속도는 100%로 설정하고 최대 각속도의 10%, 40%, 70%가 계산되었다. 최대 각속도 측정 후 등속성 측정을 시작하기 전에 5분간의 휴식이 주어졌다.

등속성 측정에서는 네 가지의 관절 각속도(10%, 40%, 70%, 100%)에서의 구심성 수축이 실시되었다. 네 가지 각속도에서의 등속성 수축 순서는 참가자들마다 무작위 순서로 수행되었다. 이러한 구간은 개인 최대 능력 100%에서 30%씩 감소하여 다양한 속도 조건에서의 근육 기능을 평가함으로 각 연령대의 각속도별 근육 기능 변화를 명확하게 분석할 수 있도록 하였다. 각 각속도 수축 사이에 90초의 휴식이 제공되었다. 수축 동안의 최대 토크(peak torque, PT) 및 평균 파워(average power, AP)가 기록되었으며, 3회 측정 중 최대값이 분석에 사용되었다.<sup>15</sup>

#### 4. 통계분석

본 연구의 모든 측정 값은 평균과 표준편차로 나타났다. 데이터의 정규성 검정은 Shapiro-Wilk test를 사용하여 수행되었다. 이원배치 분산분석(two way analysis of variance, ANOVA)(각속도 × 그룹)을 사용하여 개인화된 각속도(10%, 40%, 70%, 100%) 및 그룹(젊은 여성군, 중년 및 노인 여성군)에 따른 무릎관절 폼 PT와 AP의 차이가 비교되

었다. 분석 결과 유의한 차이가 존재하는 경우, 각속도 간의 차이는 일원배치 반복측정 분산분석(one way repeated ANOVA)을 사용하여 사후분석을 실시하였다. 통계적 유의수준은  $p < 0.05$ 로 설정되었다. 모든 통계적 분석을 위해 SPSS 22.0 software (SPSS, IBM Corp., Armonk, NY, USA)가 사용되었다.

#### 결 과

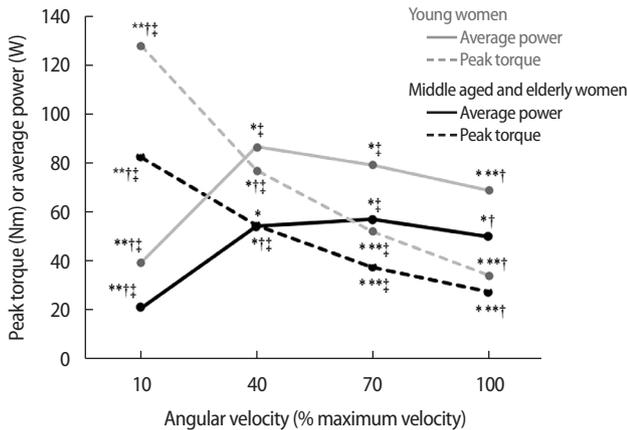
본 연구에서 등속성 수축에 사용된 개인의 최대 각속도에 따른 10%, 40%, 70%, 100%의 각속도(°/s)는 젊은 성인에서 각각  $34.04^\circ \pm 3.12^\circ/s$ ,  $136.14^\circ \pm 12.47^\circ/s$ ,  $238.25^\circ \pm 21.82^\circ/s$ ,  $340.35^\circ \pm 31.18^\circ/s$  였으며, 중년 및 노인 여성에서는  $29.54^\circ \pm 3.98^\circ/s$ ,  $118.15^\circ \pm 15.92^\circ/s$ ,  $206.77^\circ \pm 27.86^\circ/s$ ,  $295.38^\circ \pm 39.8^\circ/s$  로 나타났다. 등속성 운동 시 나이와 개인별 맞춤형 각속도에 따른 무릎관절 폼근의 PT (Nm) 및 AP (Watt)의 변화는 Table 2에 나타내었다. 이원배치 분산분석 결과에 따르면, PT는 나이와 각속도의 주효과에서 통계학적 유의한 차이를 나타냈다( $p < 0.05$ ). 또한 상호작용 효과에서도 통계적으로 유의한 차이가 발견되었다( $p < 0.05$ ). AP 또한 나이와 각속도 각각의 주효과에서 통계학적 유의한 차이를 나타냈지만( $p < 0.05$ ), 상호작용 효과는 유의한 차이가 발견되지 않았다( $p > 0.05$ ).

이원배치 분산분석에 대한 사후검정으로 실시한 일원배치 반복측정 분산분석의 결과에 따르면, 젊은 여성과 중년 및 노인 여성 모두 10% 각속도에서 100%로 각속도가 증가할수록 PT는 감소하였고, 10%, 40%, 70%, 100% 각각의 각속도 사이에는 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ ). 젊은 여성군의 40%와 70% 각속도에서의 AP는 각각 10%, 100%보다 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 또한 100%에서의 AP는 10%에서의 AP보다 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 그러나 40%, 70% 각속도에서 측정된 AP 사이에서는 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 중년 및 노인 여성의 40%, 70%, 100% 각속도에서 AP는 10%의 AP보다 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ). 또한 70% 각속도의 AP는 100%보다 더 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 그러나 40%, 70%, 100% 각속도에서 측정된 AP 사이에

**Table 2.** Comparison of peak torque and average power according to groups (young women vs. middle-aged and elderly women) and joint angular velocity (10%, 40%, 70%, and 100% of maximum velocity)

Variables	Group	Angular velocity (% of maximum velocity)				Interaction	Main effect	
		10	40	70	100		Group	Angular velocity
PT (Nm)	Y	128.55±34.71	77.75±14.64	53.10±11.03	35.20±11.14	$p < 0.001^*$ F=10.350 $\eta^2=0.166$	$p < 0.001^*$ F=74.581 $\eta^2=0.323$	$p < 0.001^*$ F=156.475 $\eta^2=0.751$
	ME	83.19±18.05	55.62±10.15	38.33±8.78	28.33±6.32			
AP (Watt)	Y	40.33±16.76	87.45±19.21	80.15±28.36	69.85±31.54	$p=0.385$ F=1.021 $\eta^2=0.019$	$p < 0.001^*$ F=52.161 $\eta^2=0.251$	$p < 0.001^*$ F=33.438 $\eta^2=0.391$
	ME	21.86±6.39	55.00±14.89	57.86±18.06	50.71±18.73			

Data are presented as mean±standard deviation. PT: peak torque, AP: average power, Y: young women, ME: middle-aged and elderly women. \* $p < 0.05$ .



**Figure 1.** Comparison of peak torque and average power according to groups (young women vs. middle-aged and elderly women) and joint angular velocity (10%, 40%, 70%, and 100% of maximum velocity). Significant differences ( $p < 0.05$ ) are shown vs. 10% (\*), 40% (\*\*), 70% (†), and 100% (††), respectively.

는 유의한 차이가 발견되지 않았다( $p > 0.05$ )(Figure 1).

## 고찰

본 연구에서는 젊은 여성과 중년 및 노인 여성을 대상으로 개인의 각속도 생성능력에 따른 맞춤형 각속도에서 등속성 수축 시 무릎 편 근육의 토크 및 파워 변화를 조사하였다. 주요 결과에 따르면, 두 그룹 모두 측정된 토크는 최대 각속도의 10%에서 가장 크게 나타난 반면 100%에서 가장 낮았다. 파워는 젊은 여성의 경우 10%에서 가장 낮았고 40-70%에서 가장 높았다. 중년 및 노인 여성은 10%에서 가장 낮았고 40%, 70%, 100%에서 큰 차이는 없었다. PT는 나이에 상관없이 유사한 추세로 변화가 나타났지만 AP의 경우는 연령에 따라 변화 경향에 차이가 존재했다.

등속성 수축을 사용하여 근육 기능을 평가할 때, 대상자가 움직이는 관절 각속도가 사전에 설정해 놓은 각속도에 도달하게 되면 각속도는 더 이상 증가하지 않고 움직임에 대한 저항으로 작용하게 된다.<sup>15</sup> 그러나 최대 각속도의 100%에 근접할수록 실제 등속성에 해당하는 각속도 유지 구간은 감소하고 이에 따라 저항도 감소한다. 즉 PT를 생성할 만큼 충분한 근수축이 일어나지 않을 가능성이 있다. 개인별 각속도의 100%에서는 실제 유지 구간이 짧아 근수축에 대한 저항이 없기 때문에 토크를 생성하는 능력이 감소한 것으로 보인다.<sup>16,17</sup> 즉 빠른 각속도로 운동을 수행하는 것은 0°-90° 범위의 움직임이 빠르게 종료되어 유지 구간이 짧게 지속되므로 근육이 충분히 최대로 활용되지 않은 것으로 사료된다.<sup>18</sup> 따라서 PT는 그룹(연령)과 상관없이 유지 구간이 가장 길었던 10% 각속도에서 가장 높게 나타났다. AP의 경우, 젊은 여성에서 각속도 유지 구간이 중간 정도였을 것으로 추측

되는 40-70%에서 가장 높은 값이 측정되었다. 그러나 중년 및 노인 여성군은 40%부터 100%까지 비교적 일정하게 낮은 수준의 AP가 나타났다. 다시 말해, 노화에 따라 근육 수축 속도가 감소하며, 이러한 결과는 연령이 증가할수록 빠른 속도 움직임이 감소함을 시사한다.

최근 연구결과에 따르면 노인이 젊은 사람에 비해 토크-속도 관계에서 더 강한 반비례 관계를 보였다.<sup>12</sup> 토크 생성 능력의 저하 이유는 빠른 속도에서 근육을 수축할 때, 감소된 2형 근섬유의 활동 때문일 수 있다. 즉, 노화가 진행됨에 따라 2형 근섬유 활동에 비해 1형 근섬유의 활동이 더 많은 비중을 차지하게 되고 결과적으로 빠른 속도로 근육을 수축시키는 능력이 감소하게 된다.<sup>13,19,20</sup> 이뿐만 아니라 노화가 진행될수록 II형 근섬유 단면적, ATPase 활동, 중추신경계의 신경처리속도 감소, 힘줄의 뻣뻣함 및 근섬유의 길이 변화는 빠른 각속도에서 근육 활동이 감소되는 요인으로 작용한다.<sup>6,21,22</sup> 즉, 노화로 인한 근섬유의 변화와 신경신호체계의 기능 감소는 토크와 파워 생성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.<sup>21,23</sup> 이러한 요인들로 인해 본 연구에서 중년 및 노인 여성이 젊은 여성에 비해 낮은 토크 및 파워 생성 능력을 나타낸 것으로 보인다. 특히, 10% 각속도에서 중년 및 노인 여성의 AP는 젊은 여성의 54% 수준밖에 되지 않았다. 이에 따라 노화에 따른 근육 기능 손실 예방을 위해서는 단순히 절대 근력을 향상시키기 위한 운동뿐만 아니라 근수축 속도를 증가시키는 것을 목적으로 하는 중재의 필요성이 강조될 수 있다.

일반적으로 여성은 남성보다 노화로 인한 근육 기능의 저하가 더 크다고 알려져 있다.<sup>6</sup> 젊은 여성은 빠른 관절 각속도의 운동을 수행하는 것이 수월하나, 중년 및 노인 여성은 앞서 말한 근섬유의 변화로 인해 빠른 움직임을 수행하는 것이 어려울 수 있다.<sup>6</sup> 이에 더해 근섬유 변화로 인한 빠른 토크 생성 능력의 감소는 자세 조절능력을 감소시키고, 피로도를 증가시킬 수 있다.<sup>21,24</sup> 실제로 선행 연구에 따르면 노인 여성은 노인 남성에 비해 근력 및 근육량 변화로 인한 기능 상실의 위험이 더 크다고 보고되었다.<sup>21,24</sup> 따라서 우리의 연구에서도 여성을 대상으로 모집하였으며, 결과에 따르면 젊은 여성에 비해 중년 및 노인 여성은 10-100% 각속도에서의 PT 및 AP가 각각 65-80%, 54-73% 수준에 해당하였다. 그러나 결과 해석 시, 300°/s와 같은 빠른 속도에서의 등속성 운동은 대상자가 설정된 각속도에 도달하지 못할 수도 있다는 것을 가정해야 한다.<sup>13,24</sup> 우리의 연구에서도 젊은 여성군과 중년 및 노인 여성군에서 측정된 최대 각속도는 340°/s 및 295°/s였으며, 실제 100% 각속도에서의 등속성 수축 시에 최대 속도까지 도달하지 못하였을 가능성이 있다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 본 연구에서 개인의 최대 각속도 측정을 위해 저항이 0Nm로 설정된 등장성 운동을 실시하였으나, 동력계의 저항 패드의 무게로 인해 완전하게 저항을 제거하지는 못했다. 또한 무릎관절의 단관절 움직임이 실시되었으나 다관절

의 움직임에서는 더 빠른 무릎 관절의 각속도가 생성될 수 있을 것으로 보인다. 따라서 우리의 연구에서 측정된 무릎관절의 최대 각속도는 실제 일상생활이나 운동환경에서의 개인의 최대 각속도보다 작게 측정되었을 것으로 추측된다. 둘째로 표면 근전도를 활용한 근육 활성화도 또는 신경전달속도와 같은 신경근 요인은 직접적으로 측정되지 않았기 때문에 결과를 해석함에 있어 제한적이었다.

결론적으로 중년 및 노인 여성은 젊은 여성에 비해 개인 맞춤형된 다양한 각속도에서 토크 및 파워 생성 능력이 저하되는 것으로 확인되었다. 특히 젊은 여성의 경우 최대 각속도의 40% 수준에서 가장 높은 파워를 생성하고, 각속도가 빨라질수록 파워 생성 수준이 감소하는 반면 중년 및 노인 여성은 40%, 70%, 100% 각속도에서 모두 비슷하게 낮은 수준을 나타냈다(젊은 성인 최대 각속도:  $340.35^{\circ} \pm 31.18\%$ , 중년 및 노인 여성 최대 각속도:  $295.38^{\circ} \pm 39.8\%$ ). 파워는 힘×속도를 의미하므로 중년 및 노인 여성의 파워 생성 수준이 젊은 여성에 비해 감소한다는 것은 노화에 따른 각속도의 감소로 인한 것이라고 예측 가능하다. 즉, 등속성 수축 시, 개인의 신경근 능력을 고려하여 관절 각속도를 설정하더라도 노인에서 파워를 생성하는 능력이 현저히 감소된다는 것이 발견되었다. 이에 따라 현재의 연구 결과는 근육의 노화가 진행됨에 따라 다양한 개인화된 관절 각속도에서 토크와 파워를 저하시킬 수 있음을 시사한다. 이러한 결과는 노화로 인한 근육 기능의 감소를 예방 및 치료하기 위해서는 토크로 측정되는 절대적인 근력이나 근육량뿐만 아니라 파워와 같은 관절 각속도 요인이 포함된 근수축 속도생성 능력을 향상시킬 필요성이 있음을 시사한다. 특히 본 연구에서 확인된 결과를 기반으로 다양한 속도에서의 훈련이 고려되어야 한다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국연구재단 기초과학연구의 연구비 지원을 받았음(RS-2020R1C1C1012483).

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (RS-2020R1C1C1012483).

## REFERENCES

- Pradhan A, Malagon G, Lagacy R et al. Effect of age and sex on strength and spatial electromyography during knee extension. *J physiol anthropol.* 2020;39(1):11.
- Aquino Mde A, Leme LEG, Amatuzzi MM et al. Isokinetic assessment of knee flexor/extensor muscular strength in elderly women. *Rev Hosp Clin Fac Med Sao Paulo.* 2002;57(4):131-4.
- Marshall RN, Morgan PT, Martinez-Valdes E et al. Quadriceps muscle electromyography activity during physical activities and resistance exercise modes in younger and older adults. *Exp Gerontol.* 2020;136:110965.
- Abdalla PP, Carvalho ADS, Dos Santos AP et al. One-repetition sub-maximal protocol to measure knee extensor muscle strength among older adults with and without sarcopenia: a validation study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2020;12:29.
- Dhillon RJS, Hasni S. Pathogenesis and management of sarcopenia. *Clin Geriatr Med.* 2017;33(1):17-26.
- Miller RM, Freitas ED, Heishman AD et al. Muscle performance changes with age in active women. *Intl J Environ Res Public Health.* 2021;18(9):4477.
- DannskioldoSamsøe B, Bartels EM, Bülow PM et al. Isokinetic and isometric muscle strength in a healthy population with special reference to age and gender. *Acta physiol.* 2009;197 Suppl 673:1-68
- Grgic J, Lazinica B, Schoenfeld BJ et al. Test-retest reliability of the one-repetition maximum (1rm) strength assessment: a systematic review. *Sports Med Open.* 2020;6(1):31.
- Gearhart Jr, Riechman SE, Lagally KM et al. Safety of using the adult OMNI Resistance Exercise Scale to determine 1-RM in older men and women. *Percept Mot Skills.* 2011;113(2):671-6.
- Osternig LR. Isokinetic dynamometry: implications for muscle testing and rehabilitation. *Exerc Sport Sci Rev.* 1986;14:45-80.
- Akınoğlu B, Paköz B, Yilmaz AE et al. Effect of contraction type at varying angular velocities on isokinetic muscle strength training. *J Exerc Rehabil.* 2023;19(4):228-36.
- Alcazar J, Rodriguez-Lopez C, Delecluse C et al. Ten-year longitudinal changes in muscle power, force, and velocity in young, middle-aged, and older adults. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2023;14(2):1019-32.
- Hong JH, Woo JG, Jeon JW. Torque and power of knee extensor muscles at individualized isokinetic angular velocities. *J Int Med Res.* 2024;52(7):3000605241262186.
- Osawa Y, Studenski SA, Ferrucci L. Knee extension rate of torque development and peak torque: associations with lower extremity function. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2018;9(3):530-9.
- Cozette M, Leprêtre PM, Doyle C et al. Isokinetic strength ratios: conventional methods, current limits and perspectives. *Front physiol.* 2019;10:567.
- Payton C. Biomechanical evaluation of movement in sport and exercise. UK, Routledge, 2007:117-42.
- Gautrey CN, Watson T, Mitchell A. The effect of velocity on load range during isokinetic hip abduction and adduction exercise. *Int J Sports Med.* 2013;34(07):623-30.
- Gavilão UF, Cossich VR, Salles JI et al. Effects of peak torque angle on the bilateral deficit of knee extensors and flexors at two velocities of contraction. *Sport Sci Health.* 2018;14(5):495-501.
- Gomes M, Santos P, Correia P et al. Sex differences in muscle fatigue following isokinetic muscle contractions. *Sci Rep.* 2021;11(1):8141.
- Song JR, Kim DY, Kim KJ et al. Suggestion of a method for evaluating athletic ability through changes in knee angular velocity. *Exerc Sci.* 2024;33(2):140-8.
- Xu J, Fu SN, Hug F. Age-related increase in muscle stiffness is muscle length dependent and associated with muscle force in senior females.

- BMC Musculoskelet Disord. 2021;22(1):829.
22. Varesco G, Coudy-Gandilhon C, Lapole T et al. Association between physical activity, quadriceps muscle performance, and biological characteristics of very old men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2022;77(1):47-54.
23. Ribeiro E, Oliveira J. Aging effects on joint proprioception: the role of physical activity in proprioception preservation. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2007;4(2):71-6.
24. Lanza IR, Towse TE, Caldwell GE et al. Effects of age on human muscle torque, velocity, and power in two muscle groups. *J Appl Physiol.* 2003; 95(6):2361-9.