creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

**저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.**

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

체육학 석사 학위논문

# 머신러닝을 통한 근감소증 노인의 동작패턴 분석 연구

**Analysis of movement patterns using machine learning in sarcopenic elderly**

2023 년 2 월

서울대학교 대학원

체 육 교 육 과

성 연 호

# 머신러닝을 통한 근감소증 노인의 동작패턴 분석 연구

지도교수 송 욱

이 논문을 체육학 석사 학위논문으로 제출함
2023 년 2 월

서울대학교 대학원
체 육 교 육 과
성 연 호

성연호의 석사 학위논문을 인준함
2023 년 2 월

위 원 장 _____ 박 재 범 _____ (인)

부위원장 _____ 윤 동 현 _____ (인)

위 원 _____ 송 욱 _____ (인)

# 초 록

**서론 :** 근감소증이 있는 노인은 근력 약화로 인해 건강한 노인과는 다른 동작패턴이 나타난다고 선행연구에서 보고되고 있다. 따라서 운동 중재를 통해 동작패턴의 변화가 생길 수 있는지 확인하고 운동 중재에서는 어떠한 변화가 생겼는지 확인하고자 한다.

**방법 :** 본 연구에는 65세 이상의 노인 여성 15명이 참여했으며, 18kg의 무릎 신전 강도 (KES)를 기준으로 참여자들은 근감소증 그룹 (SG, N=8)과 참조 그룹 (RG, N=4)으로 배정되었다. 두 그룹 모두 사전과 사후 검사에서 체성분 검사, KES 및 악력을 측정하였으며 Kinect 앞에서 5회 앉았다 일어서기 검사를 수행했다. 또한, 8주간의 운동 중재는 동작 인식 센서인 Kinect 앞에서 진행하였다. 모든 참가자는 센터를 방문하여 8주 동안 25분의 운동을 주 2회 수행했으며 운동강도는 RPE 기준 12~15에 맞추었다. 8주의 운동 데이터 중, 운동 적응 기간인 1~2주를 제외하고 3주와 8주 데이터를 분석에 이용하였다. 8주간 진행된 운동 중재 동작 중, 와이드 스쿼트와 숄더프레스를 분석하였다. RG는 건강한 그룹의 레퍼런스 데이터로 간주하고 사전 측정값과 운동 중재에서의 3주 차 데이터만 분석에 이용하였다. 두 그룹의 동작패턴들은 Random Forest와 Gradient Boosting으로 학습되었으며 변수중요도를 추출하였다.

**결과 :** 사전 검사에서 SG와 RG는 키와 몸무게, KES에서 유의한 차이가 발견되었다. 8주의 운동 중재 후, SG는 SG의 기준선과 비교하여 KES가 유의하게 증가하여 ($p$=.002) RG와는 유의한 차이가 없어졌다 ($p$=.054).

Kinect를 통한 CST의 측정 결과, 두 그룹은 사전 검사에서 일어나는 시간과 앉는 시간, Left Arm의 각도에서의 유의한 차이가 나타났다. 운동 중재 후, SG는 CST 수행 시 앉는 시간의 감소 ($p$=.011)가 나타났고, Left

Arm이 앞으로 기울어지는 각도는 유의하게 감소 ($p$=.024)하여, SG와 RG 간에는 유의한 차이가 없어졌다. 운동 중재 적응 기간이 지난 후, 두 그룹의 운동 데이터들을 Random Forest와 Gradient Boosting로 학습한 결과 두 그룹을 각각 97.2% 96.8%로 분류할 수 있었고, 숄더프레스 운동 시 팔을 들어 올리는 정도, 와이드 스쿼트 운동 시 무릎을 구부리는 정도, 숄더프레스 운동 시 수행시간이 변수중요도에서 높은 순으로 추출되었다. 앉았다 일어서기 검사와 비슷한 와이드 스쿼트는 무릎 각도와 몸통 각도에서 SG와 RG 그룹 간의 유의한 차이가 확인되었다. 하지만 8주간의 운동 중재 후에도 두 변인은 여전히 두 그룹 간에 유의한 차이가 발견되었다.

**논의 :** 사전과 사후 검사를 통해 얻은 결과 중, 앉았다 일어서기 과제에서 SG의 팔 각도가 RG와 유의한 차이가 없어진 것은, 하지 근력의 상승을 통한 상체 움직임의 안정화로 생각된다. 하지만, 와이드 스쿼트에서는 운동 중재 후에도 여전히 그룹 간 차이가 발견되었는데 이는 와이드 스쿼트가 더 많은 근육의 협응성이 필요하므로 KES의 유의한 증가에도 와이드 스쿼트의 변인에서 유의한 변화가 나타나지 않은 것으로 생각된다.

**주요어 :** 근감소증, 근력, 동작패턴, Random Forest, Gradient Boosting, 변수중요도

**학 번 :** 2020-27872

# 목 차


제 1 장 서 론 ····· 1

1.1 연구의 필요성 ····· 1

1.2 연구의 목적 ····· 4

1.3 연구의 가설 ····· 5

제 2 장 이론적 배경 ····· 6

2.1 근감소증 ····· 6

1. 질병으로서의 근감소증 ····· 6

2. 근감소증의 위험성 ····· 7

3. 근감소증의 진단기준 ····· 8

4. 노쇠 노인의 동작적 특징 관련 선행연구 ····· 10

2.2 Kinect ····· 12

1. Kinect ····· 12

2. KMR (Kinect based Mixed Reality) ····· 13

2.3 머신러닝 ····· 15

1. 지도학습과 비지도학습 ····· 15

2. 분류모델 ····· 16

제 3 장 연구 방법 ····· 18

3.1 연구 대상자 ····· 18

3.2 연구 설계 ····· 19

3.3 운동 프로그램 ····· 20

3.4 측정 도구 및 방법 ····· 21

1. 신체 조성 ····· 21

2. 상지 근력 ····· 21
3. 하지 근력 ····· 22
4. 근 기능 ····· 22
5. 설문 조사 ····· 22
6. 데이터 전처리 : 스무딩 (Smoothing) ····· 23
7. 데이터 전처리 : 특징 추출 (Feature extraction) ····· 24
8. 모델 학습 및 평가 ····· 25
3.5 자료 처리 ····· 27

제 4 장 연구 결과 ····· 28
4.1 연구 대상자 ····· 28
4.2 검사항목별 운동 중재 전후의 그룹 간 비교 ····· 29
4.3 사전 검사에서 두 그룹 간 앉았다 일어서기 자세 특성 ·· 31
4.4 중재 전후의 앉았다 일어서기 자세 특성 비교 ····· 32
4.5 스쿼트와 숄더 프레스의 변수 중요도 ····· 34
4.6 운동 적응 기간 후 운동 자세별 기준선 특성 ····· 37
4.7 스쿼트 동작의 중재 전후 그룹 간 특성 비교 ····· 38

제 5 장 논의 ····· 39
5.1 연구 대상자 ····· 39
5.2 검사항목별 운동 중재 전후의 그룹 간 비교 ····· 40
5.3 운동 항목별 그룹 간 비교 ····· 42
5.4 제한점 ····· 44

제 6 장 결론 ····· 45

참고문헌 ·····46

Abstract ·····53

# 표 목 차

Table 1. Diagnostic criteria for sarcopenia ····· 8
Table 2. Srcreening tool ····· 21
Table 3. Baseline characteristics of the sarcopenia group and the reference group ····· 28
Table 4. Postural characteristics of the CST test at baseline ····· 31
Table 5. Baseline characteristics of each exercise posture in the two groups after the exercise adaptation period ····· 37

# 그 림 목 차

Figure 1. Kinect V2 Joint map ····· 12
Figure 2. Research design ····· 19
Figure 3. Applying a moving average filter ····· 23
Figure 4. How to Calculate the Angle of a Joint ····· 25
Figure 5. Process of 5-fold cross validation ····· 26
Figure 6. Differences in muscle strength between groups ····· 29
Figure 7. Differences in body composition between groups ····· 30
Figure 8. Differences in muscle function between groups ····· 30
Figure 9. Differences in CST postural characteristics between groups ····· 33
Figure 10. Important features extracted through Random Forest ···· 34
Figure 11. Important features extracted through Gradient Boosting 35
Figure 12. ROC curve and AUC of Random Forest ····· 36
Figure 13. ROC curve and AUC of Gradient Boosting ····· 36

Figure 14. Differences in Squat movement characteristics between groups ····· 38

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 필요성

Microsoft 사에서 개발한 장비인 Kinect는 색상 카메라인 RGB 카메라와 물체와의 거리를 인식할 수 있는 IR 카메라를 통해 신체의 움직임을 3차원으로 인식할 수 있게 도와준다. Kinect는 특별한 마커(marker) 없이 신체의 25개 관절의 움직임을 실시간으로 데이터화하여 동작을 인식할 수 있는 장비이다. 신체 각 관절들의 움직임을 3차원의 좌푯값으로 얻을 수 있는 Kinect는 운동 분석에 대해 새로운 접근을 할 수 있게 한다.

일반적인 임상 환경에서는 특수한 장비 없이 movement를 데이터화하고 정량화할 수 없으므로 동작에 대한 횟수 나 운동자각도, 수행시간만을 가지고 운동 수행을 평가한다. 하지만 Kinect는 25개의 관절을 실시간으로 추적하여서 신체의 움직임을 데이터화 한다. 이를 통해 대상자의 동작 혹은 운동 수행 간에 나타나는 movement를 비교 및 판단할 수 있게 된다. 이는 대상자의 운동이 끝난 후 반복 횟수, 운동 자각도, 운동 시간과 같이 정량화할 수 있는 데이터만 활용하였던 기존의 방식 대신에 대상자가 수행하는 movement 전체를 데이터로 사용할 수 있게 한다. 따라서 Kinect는 대상자들의 움직임을 비교 분석하는 의료분야의 연구에 사용되고 있으며 (Bernardino et al., 2016) 최근 근감소증과 관련해서도 다양한 연구가 진행되고 있다.

근감소증 (sarcopenia)은 muscle을 뜻하는 sarx와 loss를 뜻하는 penia의 합성어로 근육의 감소를 의미하며, 1989년 Rosenberg에 의해 처음 소개되었다 (Rosenberg, 1989). 하지만 근감소증이 의미하는 것은 단순한 근육의 감소가 아니라, 연령 증가에 따른 근육량 및 근력의 감소와 신체 기능의 감소가 이루어지는 노인성 근육 질환을 뜻한다 (Cruz-Jentoft et al., 2010). 노화로 인해 신체는 30세부터 시작하여 매년 근육량의

0.1~0.5%가 감소하고, 65세 이후부터는 근육량이 급격히 감소하며 근력 및 근 기능의 저하가 발생한다고 보고되고 있다 (Curcio et al., 2016). 이로 인해 발생하는 문제는 신체활동의 저하, 삶의 질 저하, 낙상으로 인한 골절 등이 발생하여 장기요양 시설 입소 및 사망 등과 같이 돌이킬 수 없는 결과로 이어질 수 있다. 또한, 근육량과 근 기능의 감소는 신체활동과 에너지 소비의 감소로 이어지게 되고, 폐 기능이 저하되어 폐렴 등의 감염 발생 위험이 증가하며, 심혈관질환이나 당뇨병, 고혈압 등의 대사증후군, 순환기질환의 발생 등이 증가하게 된다 (Kim et al., 2019; Won, 2020). 또한, 65세 이상의 노인 환자 500명을 6년간 추적 조사한 국내 연구에 따르면 근감소증 환자의 사망률은 정상군에 비해 남성이 2.99배, 여성이 3.22배 높았다 (Lim et al., 2010). 따라서 근감소증은 조기에 운동을 통해 예방하고 근감소를 지연시키는 것이 그 무엇보다 중요하다. 이러한 근감소증은 근육량과 근력, 그리고 근 기능을 측정하여 진단하게 되는데, 현재 많은 연구에서 근육량은 근감소증으로 인해 발생할 수 있는 낙상과 골절 등의 예후를 충분히 예측하지 못하며 상관성이 없다고 보고되고 있으며, 근력과 근 기능의 수준이 근감소증으로 인해 발생할 수 있는 질병들의 예측 인자로서 받아들여지고 있다 (Bachettini et al., 2020; Iwamura & Kanauchi, 2017; Manini & Clark, 2012; Welch, 2014). 근력은 보편적으로 악력이나 하지근력을 통해 평가하고 근 기능은 몇 가지 검사들을 통해 검사소요 시간을 측정하는데, 근 기능을 평가하는 방법에 있어 문제가 존재한다. 현재 임상 환경에서 근 기능의 측정은 검사자들의 편차에 의해 달라질 수 있으며 영향을 받는다 (홍지영 & 공현중, 2017; Chen et al., 2017). 또한 다양한 연구를 통해 근 기능의 저하로 인해 발생하는 동작패턴의 정보가 다양하다고 보고되고 있음에도 근감소증 진단에서 근 기능은 검사소요 시간만을 가지고 평가하게 된다. 따라서 근 기능 검사를 시간 정보만으로 평가하는 것이 아닌 Kinect를 활용하여 다양한 동작패턴을 확인하는 과정이 필요하며 머신러닝 (Machine learning)의 학습 과정을 통해 변수중요도를 추출하여 건강한 노인과 근감소증 노인을 구분하는데

주요한 변인들을 살펴보는 것이 중요할 것이다. Machine learning을 통해 근감소증 노인들의 동작패턴을 학습시키게 된다면, 근감소증 그룹과 건강한 노인들을 구분하는데 중요한 변인들을 통해 CST와 같은 간단한 측정을 진행하거나 단순히 운동을 진행하더라도 측정자가 근감소증에 해당하는지 예측할 수 있게 된다. 이를 통해 측정자들을 빠르게 병원으로 인계할 수 있게 되고 운동 중재를 이른 시일 내에 시작할 수 있게 되어 근감소가 진행되는 것을 효과적으로 지연시킬 수 있다.

## 1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 건강한 노인과는 다른 근감소증 노인이 가지고 있는 동작적 패턴을 찾고, 근력 운동을 통해 동작패턴이 건강한 노인과 비슷해질 수 있는지 확인하고자 한다. 또한, 근감소증 노인과 건강한 노인을 구분하는데 중요한 동작패턴을 Machine learning을 통해 찾고 운동 중재를 통해 동작패턴이 변화되는지 확인하고자 한다.

## 1.3 연구의 가설

본 연구의 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 연구 가설을 설정하였다.

1) 앉았다 일어서기 과제와 와이드 스쿼트 운동에서 근감소증 그룹과 건강한 그룹 사이에는 동작패턴의 차이가 있을 것이다.

2) 근감소증 그룹이 8주간에 운동 중재를 통해 근력이 향상된다면 Machine learning 모델을 통해 추출된 변수중요도의 변인들이 건강한 그룹과 비슷해질 것이다.

# 제 2 장 이론적 배경

## 2.1 근감소증

### 2.1.1 질병으로서의 근감소증

노인은 생물학적 연령을 기준으로 65세 이상으로 분류하며, 65세 이상 노인의 수가 전체 인구수의 7%에 해당하면 고령화 사회, 14% 이상은 고령 사회, 20% 이상은 초고령 사회라고 지칭한다 (강승애, 2015). 한국은 고령화 속도가 가장 빠른 국가 중 하나로서 (Jang, H.C., 2018) 통계청의 자료에 따르면, 한국은 2021년 9월을 기준으로 전체 인구대비 16.5%가 65세 이상 노인으로 구성되어있는 고령 사회이며 2025년에는 20.3%가 65세 이상 노인으로 구성되어있는 초고령 사회가 되어 2047년에는 전체 가구의 49.6%가 고령자 가구가 될 전망이라고 밝혔다 (Statistical Office, 2021). 노인 인구의 비율이 점차 증가하는 흐름은 노인성 질환에 관해 관심을 높이고 있는데, 특히 노화로 인해 함께 발병되는 근감소증에 관한 관심이 높아지고 있다.

근감소증 (sarcopenia)은 muscle을 뜻하는 sarx와 loss를 뜻하는 penia의 합성어로 근육의 감소를 의미하며, 1989년 Rosenberg에 의해 처음 소개되었다 (Rosenberg, 1989). 하지만 근감소증이 의미하는 것은 단순한 근육의 감소가 아니라, 연령 증가에 따른 근육량 및 근력의 감소와 신체 기능의 감소가 이루어지는 노인성 근육 질환을 뜻한다 (Cruz-Jentoft et al., 2010). 이러한 근감소증을 겪는 노인들은 일상생활의 기능을 유지하기 어렵고, 신체활동의 저하, 삶의 질 저하, 낙상과 골절 위험의 증가로 인한 장기요양 시설 입소 및 사망으로 이어질 수 있다. 따라서 근감소증은 질병으로 분류되고 있으며, 2016년에 세계보건기구의 국제질병 통계분류 제10차 개정판을 통해 질병코드를 부여받았고, 2021년에 한국도 표준질병사인 분류 (KCD) 8차 개정안에 근감소증을 포함했다.

2.1.2 근감소증의 위험성

미국에서는 2000년 기준으로 한 해 동안 185억 달러 상당의 의료비가 근감소증과 관련하여 사용되었다고 추정되고 있는데, 이는 전체 의료비의 1.5%를 차지하고 있다 (Janssen et al., 2004). 이처럼 근감소증과 근육의 약화는 상당한 의료비의 원인이 되며 (Pinedo-Villanueva et al., 2019), 한국에서도 이와 비슷한 실정이다. 노인 인구가 증가함에 따라 국민건강보험의 의료비 지출이 증가 되었고 고령자가 전체 의료비의 35.5%를 차지하고 있어 (Jang, 2018) 이에 대한 이해와 대책이 필요하다.

노화로 인해 신체는 30세부터 시작하여 매년 근육량의 0.1~0.5%가 감소하고, 65세 이후부터는 근육량이 급격히 감소하며 근력 및 근 기능의 저하가 발생한다고 보고되고 있다 (Curcio et al., 2016). 이로 인해 발생하는 문제는 신체활동의 저하, 삶의 질 저하, 낙상으로 인한 골절 등이 발생하여 장기요양 시설 입소 및 사망 등과 같이 돌이킬 수 없는 결과로 이어질 수 있다. 또한, 근육량과 근 기능의 감소는 신체활동과 에너지 소비의 감소로 이어지게 되고, 폐 기능이 저하되어 폐렴 등의 감염 발생 위험이 증가하며, 고혈압이나 당뇨병, 심혈관질환 등의 순환기질환과 대사증후군의 발생 등이 증가하게 된다 (Kim et al., 2019; Won, 2020). 이뿐만 아니라 근육량과 근력 및 근 기능의 손실로 인한 신체활동 감소는 에너지 소비량의 감소로 이어지게 되고, 낮은 에너지 소비량은 식욕부진으로 인한 영양 섭취의 감소로 이어지게 된다 (Fried et al., 2001; Bong & Song, 2020). 영양 섭취의 감소는 음식물의 섭취를 통해서만 얻을 수 있는 필수 아미노산인 류신 (Leucine) 섭취의 감소를 의미하는데, 류신은 근 합성에서 신호전달 역할을 하는 아미노산으로서 단백질 분해를 막고 합성을 촉진해 근육량을 유지하거나 증가시키는 데 중요한 역할을 한다고 알려져 있다 (Matsumoto et al., 2014). 즉, 근감소증으로 인해 감소한 신체활동의 감소와 에너지 소비량의 감소는 근 합성을 위한 영양 섭취의 감소를 유발하고 이는 다시 근감소증으로 이어지는 악순환의 고리에 빠지는 것으로 알려져 있다 (Nascimento et al., 2019).

여러 가지 복합적인 이유로 인하여 중증 근감소증 환자의 경우 2.6년 안에 사망할 확률이 4배가 높다고 보고되고 있으며 (Bachettini et al., 2020), 65세 이상의 노인 환자 500명을 6년간 추적 조사한 국내 연구에 따르면 근감소증 환자의 사망률은 정상군에 비해 남성이 2.99배, 여성이 3.22배 높았다 (Lim et al., 2010). 따라서 근감소증은 조기에 운동을 통해 예방하는 것이 그 무엇보다 중요하다.

### 2.1.3 근감소증의 진단기준

근감소증에 대한 진단기준은 Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS), European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP), The Foundation for the National Institutes of Health (FNIH) 등에서 인종 간 차이를 고려하여 각기 다른 기준을 제시하고 있는데, 아시아를 중심으로 한 AWGS에서는 사지골격근량 (Appendicular skeletal muscle mass, ASM)과 근력 (Muscle Strength, MS)가 기준보다 작거나 사지골격근량과 근 기능 (Physical Performance, PP)이 기준보다 작은 경우 근감소증으로 판단하고 있다 (Kim & Won, 2020).

| Low Muscle Mass (ASM) | Low Muscle Strength (MS) | Low Physical Performance (PP)<br>[for both sex] | Diagnostic Criteria |
|---|---|---|---|
| **ASM/heigh$^2$ (DXA)**<br><7.0 for men<br><5.4 for women | **Hand grip strength**<br><28 kg for men<br><18 kg for women | **6m gait speed** <1.0m/s<br>**5-time chair stand test** ≥ 12s | Low ASM + Low MS<br>**OR** |
| **ASM/heigh$^2$ (BIA)**<br><7.0 for men<br><5.7 for women | **Knee extension strength**<br><18 kg for men<br><16 kg for women | **SPPB** ≤ 9 points<br>- Balance test (sec)<br>- 4m gait speed test (sec)<br>- Chair stand test (sec) | Low ASM + Low PP |

Table 1. Diagnostic criteria for sarcopenia

근육량은 gold standard인 CT와 MRI로 측정하는 것이 권장되지만, 이는 비용적인 측면과 방사선 노출 위험의 문제로 인해 골밀도 측정에 사용되

는 DXA (Dual energy X-ray absorptiometry)와 BIA (Bioelectrical Impedance Analysis)를 사용하여 측정하는 것을 허용하고 있다. 본 연구에서는 BIA를 통해 근육량을 측정하였고 다음의 공식을 사용하여 사지골격근량을 계산하였다 (Wu et al., 2021).

Appendicular skeletal muscle mass (ASM) =

0.193 * body weight + 0.107 * height – 4.157 * sex – 0.037 * age – 2.631. (식 II-1)

근력은 appendicular skeletal muscle mass와 상관관계를 가지고 있으며 (Kim, Won & Kim, 2018), 근감소증을 간단하면서도 빠르고 저렴한 방법으로서 근감소증을 측정할 수 있는 상지의 악력이 임상 환경에서 보편적으로 사용되고 있다. 하지만, 노화에 따른 근육량과 근력의 감소는 다른 부위보다 하지에서 가장 두드러지게 나타나며 (Abe et al., 2011; Yamada et al., 2007; Janssen et al., 2000) 걷기와 계단 오르기와 같은 일상적인 활동에서 상지보다는 하지 근력의 사용이 두드러진다고 보고된다 (Abe et al., 2011). 또한, 근감소증이 있는 노인에게서 운동 중재를 통한 근력의 변화를 관측할 때 악력은 적절하지 않다고 보고되고 있다 (Arai et al., 2018; Fielding et al., 2011; Tieland et al., 2015; Yoshimura et al., 2017). 따라서 근감소증 진단기준을 악력 대신 무릎 신전 근력 (Knee extension strength, KES)을 사용하여 대상자들의 운동 중재 전후 근력 변화를 관찰하기도 한다. 근감소증을 진단하는데 사용되는 KES의 기준은 남자와 여자 각각 18kg 이하, 16kg 이하이다 (Assantachai et al., 2014; Khongsri et al., 2016; Iwamura & Kanauchi, 2017; Lim et al., 2022; Lu et al., 2019; Lu et al., 2020; Lu et al., 2021).

근 기능은 보행속도를 측정하여 평가하는 것이 가장 널리 알려진 방법이다. 보행속도가 장애, 사망률 등을 예측하는데 중요한 요소로 알려져 있다. 하지만 보행속도를 측정하기 위해서는 실측 구간인 4m를 포함하여 전후 가속과 감속 구간을 각각 1m씩 더하여 총 6m라는 공간이 필요하므로 이를 대신하여 SPPB (Short Physical performance Battery)나 TUG

(Timed Up and Go)검사, 5회 앉았다 일어서기 검사 (5-time Chair stand test) 중 한 가지를 측정하여 평가할 수 있다 (Won, 2020). 이 중 SPPB는 1980년도에 만들어진 각기 다른 검사들을 1994년도에 Guralnik 등이 종합하고 응용하여 만들어낸 노인 체력검사로 근감소증 진단에서 사용되는 다른 근 기능 검사들과 비슷한 항목들을 측정한다 (박래준 et al., 2011). SPPB에는 4m 걷기 검사, 5회 앉았다 일어서기 검사, 균형검사가 포함되어 있어 노인들의 신체 기능을 간편하게 측정할 수 있으며, 하지 기능을 측정하는 것에 초점을 맞추고 있다 (박래준 et al., 2011). 이러한 근 기능을 평가하는 모든 항목의 검사는 동작을 수행하는데 소요되는 시간만을 측정하여 평가하고 있다. 하지만 선행연구에서는 노쇠한 노인과 근력의 저하가 있는 노인에게서는 동작을 수행하는데 소요되는 시간 정보 이외에도 다양한 동작적 특징이 발견된다고 보고하고 있다.

### 2.1.4 노쇠 노인의 동작적 특징 관련 선행연구

선행연구에서 근감소증을 겪고 있는 노인들을 대상으로 보행 검사를 하였을 때, 근감소증 노인에서는 보행 중 종아리가 수축하는 단계인 heel-off phase가 잘 관찰되지 않음을 발견하였는데, 종아리 근육의 약화가 그 원인으로 보인다. 그리고 근감소증 환자는 toe-off phase 뒤에 몇 단계를 'Jump' 하여 바로 발이 바닥 면과 접촉하는 contact phase가 관찰되었다 (Chen et al., 2021).

노쇠 노인 그룹과 성인 그룹에게 Timed Up and Go 검사를 한 다른 연구에서도 그룹 간에 동작적 차이를 발견하였는데, Timed Up and Go 검사의 의자에서 앉는 동작과 의자에서 일어나는 동작에서 노쇠 노인의 몸통 각도가 성인 그룹과 비교하였을 때 유의하게 기울어진다는 사실을 발견하였다. 또한, 의자에 앉는 동작이 의자에서 일어나는 동작에 비해 유의하게 시간이 더 오래 걸렸다. 이는 중력이 작용하는 동작에서 노쇠한 노인들이 자세를 제어하는데 어려움이 발생하기 때문으로 보인다 (Hassani et al., 2015). 또한, 많은 연구에서 '의자에서 앉았다 일어서기'는

최대 하지 근력과 강한 상관관계를 보여주고 있는 만큼 (Roberta, 2012) 노쇠 노인의 하지 근력 부족으로 인한 차이가 나타난 것으로 보인다. 이처럼 신체적으로 노쇠한 노인들에서는 건강한 노인과는 다른 신체의 움직임이 관찰되고 있는데, 여러 연구에서 위와 같이 동작과 자세를 분석할 때 Kinect를 사용할 것을 제안하고 있다 (Abobakr, 2019; Woldegiorgis, 2021).

## 2.2 Kinect

### 2.2.1 Kinect

Microsoft 사에서 개발한 장비인 Kinect는 색상 카메라인 RGB 카메라와 물체와의 거리를 인식할 수 있는 IR 카메라를 통해 신체의 움직임을 3차원으로 인식할 수 있게 된다. Kinect는 특별한 마커 (marker) 없이도 신체의 25개 관절의 움직임을 실시간으로 데이터화하여 동작을 인식할 수 있는 장비로서 Kinect가 인식하는 신체의 25개의 관절은 <Figure 1>에 나타나 있다. 신체의 움직임을 3차원의 좌푯값으로 얻을 수 있는 Kinect는 운동 분석에 대해 새로운 접근을 할 수 있게 한다.

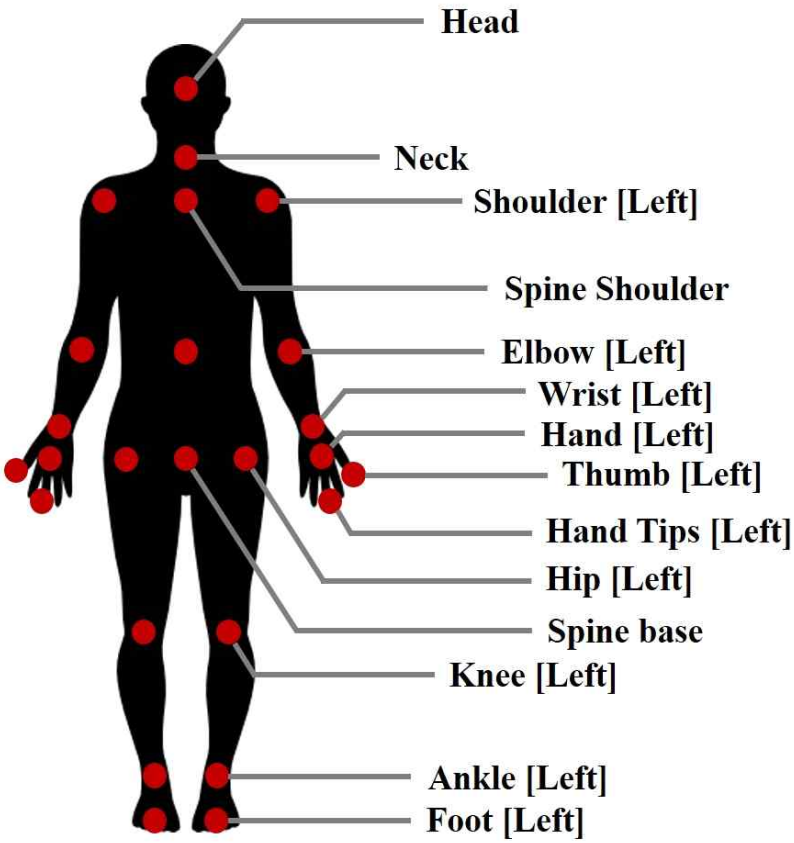



Figure 1. Kinect V2 Joint map

일반적인 임상 환경에서는 특수한 장비 없이 movement를 데이터화하고 정량화할 수 없으므로 동작에 대한 횟수나 운동자각도, 수행시간만을 가지고 운동 수행을 평가한다. 하지만 Kinect는 25개의 관절을 실시간으로 추적하여서 신체의 움직임을 데이터화 한다. 이를 통해 대상자의 동작 혹은 운동 수행 간에 나타나는 movement를 비교 및 판단할 수 있게 된다. 이는 대상자의 운동이 끝난 후 반복 횟수, 운동 자각도, 운동 시간과 같이 정량화할 수 있는 데이터만 활용하였던 기존의 방식 대신에 대상자가 수행하는 movement 전체를 데이터로 사용할 수 있게 한다. 따라서 Kinect는 대상자들의 움직임을 비교 분석하는 의료분야의 연구에 사용되고 있다 (Bernardino et al., 2016).

2.2.2 KMR (Kinect based Mixed Reality)

KMR은 트레이너를 대신하여 정확한 동작으로 운동 수행을 할 수 있도록 도와주는 기계이다. KMR은 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 사용자가 볼 수 있는 display와 사용자가 서 있는 바닥을 비추는 빔프로젝터, 그리고 사용자를 인식할 수 있는 Kinect 장비가 있다. 사용자는 KMR의 화면을 통해 각 운동별로 정확한 동작을 수행하기 위해 지켜야 할 3가지 유의사항을 확인할 수 있다. 그리고 사용자가 이동해야 할 방향은 빔프로젝터를 통해 바닥에 표시된다. 또한, 동작을 인식하고 평가하는 Kinect라는 장비를 통해 사용자가 KMR 앞에서 운동 수행을 하게 되면 실시간으로 3가지 지침 사항에 대한 각각의 평가 (Success, Fail)와 함께 동작의 Grade (Excellent, Great, Good, Bad, Miss)를 음성으로 제공하여 정확한 자세를 잡아가도록 유도한다. 따라서 사용자는 KMR이 제공하는 실시간 피드백을 통해 자세를 수정할 수 있다. 이처럼 KMR은 사용자의 움직임을 인식하고, 동작에 대한 평가를 음성과 화면에 출력하여 사용자로 하여금 AR (Augumented reality, 증강현실)과 상호작용할 수 있는 Mixed reality 환경을 조성한다. 이러한

KMR 장비는 운동 중재 기간 대상자들의 모든 움직임을 실시간으로 데이터화하여 저장할 수 있다는 장점이 있으며, 대상자들의 운동 자세에 대해 피드백을 제공할 때에 연구자의 개입을 최소화하고 동일한 기준의 피드백을 제공할 수 있게 한다.

## 2.2 머신러닝 (Machine learning)

### 2.3.1 지도학습과 비지도학습

본 연구에서는 다양한 인공지능 기술 중에서도 많이 사용되고 주목을 받는 머신러닝 (Machine learning) 기반의 모델을 활용하여 근감소증 분류 (Classification)를 수행하였다. 머신러닝이란 데이터를 학습하여 결과를 예측하거나 분류하는 것을 목적으로 하고 있으며 (Pillay et al., 2018), Machine learning으로 불리는 기계학습은 입력된 데이터의 규칙이나 지식을 스스로 학습하기 위해서 연구자가 개입하여 데이터를 다듬는 일련의 과정들이 필요하다. 머신러닝은 지도학습 (Supervised learning), 비지도학습 (Unsupervised learning), 강화학습 (Reinforcement learning) 등의 학습방식으로 나누어지는데, 주로 학습 데이터의 의존도와 데이터에 대한 정답 (Label) 유무에 따라 지도학습과 비지도학습으로 나눈다 (Yu, Shin & Kwon, 2017).

지도학습은 데이터에 대한 정답이 주어진 상태에서 컴퓨터를 학습시키는 방법이다. 데이터는 트레이닝 데이터 세트와 테스트 데이터 세트로 나뉘며, 정답이 주어져 있는 트레이닝 데이터 세트로 모델의 학습이 끝나면 테스트 데이터 세트를 통해서 학습된 알고리즘이 얼마나 정확히 예측할 수 있는지를 확인할 수 있다. 예를 들어 사진 속의 개와 고양이를 분류하는 모델을 만들 때 개와 고양이에 대한 사진에 연구자가 정답을 확인하여 라벨을 달아주고 지도학습 과정을 거치게 되면 새로운 사진을 줬을 때, 모델은 사진의 동물을 개와 고양이로 분류할 수 있게 된다. 이처럼 지도학습은 직관적이기 때문에 이해하기 쉽다는 장점이 있지만, 양질의 학습 데이터를 얻기 위해 연구자의 노력이 필요하고 여러 학습 알고리즘을 선택해야 좋은 결과를 얻게 될 수 있다는 단점이 있다.

두 번째로 비지도학습은 정답이 정해지지 않은 학습 데이터에서 사용되는데, 입력된 데이터가 어느 그룹에 속하는지 연구자가 지정하지 않고 데이터의 자체 학습 패턴을 모델 스스로가 학습하여 찾을 때

사용한다. 예를 들어 사진 속 동물을 분류하는 모델을 만들 때 각 동물에 대한 아무런 정보 없이 사진 속의 동물 모양과 색상 등의 정보를 스스로 학습하고 분류하는 학습의 과정으로 진행된다. 이처럼 비지도학습은 학습 데이터에 대한 라벨을 달아줄 필요가 없어서 연구자의 적은 개입으로도 바로 학습할 수 있다는 장점이 있지만, 지도학습보다 구현이 어렵고 데이터에 대한 정답이 정해져 있지 않기 때문에 예상했던 것과는 다른 결과가 도출될 수 있다는 단점이 있다.

### 2.3.2 분류모델

본 연구에서는 지도학습을 바탕으로 근감소증을 분류하는 모델을 만드는 것을 목적으로 하며, 분류모델 중 앙상블 기법을 사용하는 랜덤포레스트 (Random Forest)와 그레디언트 부스팅 (Gradient Boosting)을 사용하였다. 앙상블 기법은 보팅 (Voting), 배깅 (Bagging), 부스팅 (Boosting) 등이 있는데, 보팅은 각기 다른 알고리즘들을 사용하여 예측을 실행하고 결과를 산출하는 방식을 의미하고, 배깅은 중복 샘플링을 허용한 데이터 세트들에 같은 알고리즘을 사용하여 예측을 실행한 결과를 산출하는 방식을 의미한다. 부스팅은 이전 모델이 학습한 결과를 토대로 순차적으로 오류에 가중치를 더하는 방식으로 학습하는 과정을 의미한다. 이처럼 앙상블 기법은 한가지 모델만을 사용하는 것이 아닌 여러 모델을 사용하여 데이터를 학습하고 다양한 모델의 결과를 종합하기 때문에 시간이 오래 걸리는 단점이 있지만, 전반적인 오류를 줄여주고 모델의 과적합을 방지할 수 있다는 장점이 있다 (한재윤 & 이경전, 2017).

분석 방법 중에서 의사결정나무 (Classification and regression trees) 모델은 주로 의학과 보건학에서 많이 사용된 분석 방법으로 (De'Ath & Fabricius, 2000) 의사결정나무는 학습 과정이 단순하고 학습이 깊어질수록 오차는 줄어들게 된다. 하지만 학습이 깊어질수록 주어진 데이터 세트에 과하게 학습된 상태인 과적합 (Overfitting)이 발생할 수

있는데, 과적합이란 주어졌던 학습 데이터에는 과하게 학습이 되어 오차는 줄어들고 정확한 예측을 제공할 수 있지만 새롭게 주어지는 데이터에는 정확히 예측하지 못하는 상황을 의미하며, 일반화가 어려워지는 것을 뜻한다. 이러한 과적합의 문제를 해결하기 위한 모델이 Random Forest이다.

Random Forest는 앙상블의 배깅 기법 중에서 대표적인 모델로서, 의사결정나무들이 모여 하나의 Random Forest를 형성하게 되는데 여러 개의 의사결정나무를 결합하여 하나의 의사결정나무보다 더 좋은 예측 성능을 갖게 되는 모델이다 (Pavlov, 2019). 따라서 하나의 의사결정나무가 과적합이 발생하여 잘못 예측하게 되더라도 여러 개의 의사결정나무들의 예측 결과를 평균하여 예측을 수행하기 때문에 과적합을 피할 수 있는 장점이 있다. 또한, Random Forest에서는 불순도를 나타내는 지표인 지니 인덱스 (Gini index)를 사용하여 변수의 중요도를 확인할 수 있다. 변수중요도를 통해 그룹을 더 분명하게 나눌 수 있는 변수의 순위를 확인할 수 있는데, 변수중요도가 낮은 변수들을 제외하면 과적합을 피하고 학습의 속도를 높일 수도 있는 장점이 있다.

Gradient Boosting 모델은 앙상블의 부스팅 기법 중에서 대표적인 모델로서, 의사결정나무들을 동시에 학습시키는 것이 아니라 하나씩 순차적으로 학습하는 과정을 거친다. Gradient Boosting은 데이터를 학습할 때 이전 모델에서 발견된 오류에 가중치를 부여해서 잘못 예측한 데이터를 올바르게 분류할 수 있도록 새로운 분류 규칙을 만들어 모델의 성능을 높이고 오류를 줄이는 과정을 거치게 된다.

# 제 3 장 연구 방법

## 3.1 연구 대상자

본 연구의 피험자는 65세 이상의 여성 노인을 대상으로 모집되었다. 연구 목적에 따라 근력이 약한 대상자들과 건강한 대상자들이 모두 모집 대상이었으며, 연구 진행 시 도움 없이 의자에서 일어나는 것이 불가능하거나 도움 없이 걸어가는 것이 불가능한 자는 연구에서 제외되었다. 또한, 6개월 이내에 외과적 수술을 진행한 사람은 제외하였으며, 고강도의 운동을 지속해서 하는 자는 제외하였다. 총 19명이 연구에 참여하였으며, 코로나-19의 특성상 7명이 중도 탈락하여 건강한 그룹은 4명, 근감소증 그룹은 8명이 포함되었다. 본 연구에 사용된 모든 절차는 서울대학교 생명윤리위원회의 승인을 받았으며 (IRB 승인 번호: 2206/001-015) 연구 시작 전에 헬싱키 선언에 따라 수행되었다.

## 3.2 연구 설계

본 연구의 설계는 <Figure 2> 와 같다.

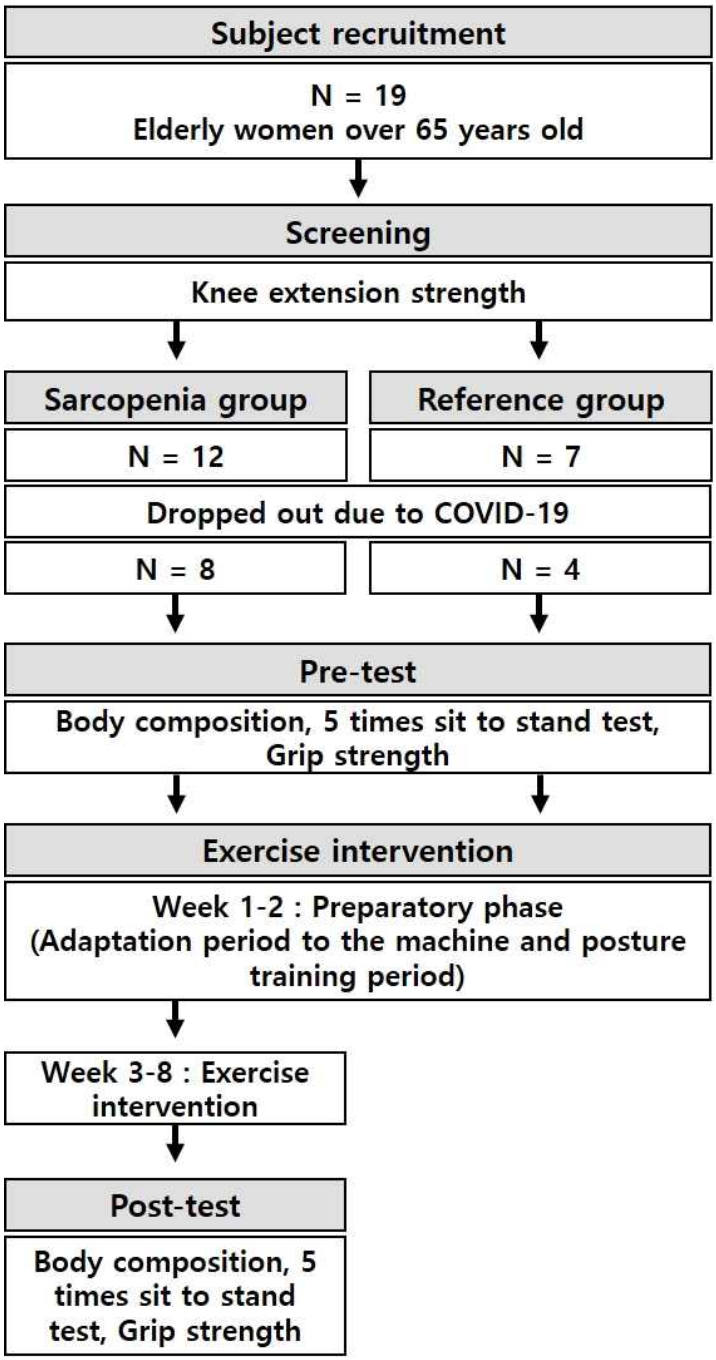



Figure 2. Research design

## 3.3 운동 프로그램

근감소증 그룹은 8주간 주 2회 센터에 방문하여 KMR 앞에서 운동 프로그램을 시행하였다. 운동 프로그램은 근감소증을 개선하기 위한 목적으로 주요 근육군을 자극할 수 있는 6가지의 저항성 운동을 시행하였다. 운동 강도는 RPE 기준 12~15의 강도로 진행되었다. 6가지의 메인 운동에는 오버헤드 사이드밴드 (김헌경, 2019), 와이드 스쿼트 (Chen et al., 2017; Jung et al., 2017; Vikberg et al., 2019), 숄더프레스 (Jung et al., 2017; Liao et al., 2018; Maltais et al., 2016), 스트레이트 레그 데드리프트 (Chen et al., 2017; Chen et al., 2018), 투암 덤벨 로우 (Chen et al., 2018), 덤벨 플로우 프레스 (Cadore et al., 2014; Zdzieblik et al., 2015) 동작으로 이루어졌다. 각 운동은 1분 동안 3세트로 진행되었으며 사이에 10초의 휴식시간을 가졌다. 운동 전후로는 웜업과 쿨다운 운동이 진행되었으며, 웜업에는 스트레칭과 함께 종아리 들기 (Vikberg et al., 2019)가 진행되었고 쿨다운에는 브릿지 (Iranzo et al., 2018)가 진행되어 총 25분의 운동 프로그램이 진행되었다. 1~2주는 운동 자세 교육 기간 및 기계사용법 숙지 기간으로 진행되었으며 3~8주는 KMR 기계를 통해 운동 프로그램을 스스로 진행하였다.

레퍼런스 그룹은 8주 중에 운동 자세 교육 기간 및 기계사용법 숙지 기간인 1~2주를 진행하고 3주 차에 운동 프로그램 시행 후 연구 참여를 중단하였다. 레퍼런스 그룹의 3주 차 데이터는 건강한 그룹의 운동 자세에 대한 레퍼런스 데이터로 정의하였다.

## 3.4 측정 도구 및 방법

본 연구의 측정 도구는 <Table 2> 과 같다.

Table 2. Screening tool

| 장비 | 측정 항목 | 제조사 |
|---|---|---|
| Inbody 330 | Body composition | Inbody, Korea |
| Hand held dynamometer | Knee extension strength<br>Knee flexion strength | Lafayette, USA |
| Grip dynamometer | Grip strength | Takei, Japan |
| Kinect V2 | Chair stand test | Microsoft, USA |

3.4.1 신체 조성

본 연구에서 체중(kg), 근육량 (kg), 체지방량 (kg), BMI (Body mass index; kg/m$^2$)을 측정하였다. 대상자는 측정 전 충분한 휴식을 취한 후 측정을 진행하였으며, 양말을 벗고 지닌 모든 금속 물질을 제거한 후 측정을 진행하였다.

3.4.2 상지 근력

상지 근력은 악력 검사로 진행하였으며, 악력은 악력계 (Takei, Japan)를 사용하여 측정하였다. 손가락의 두 번째 관절이 악력계의 손잡이에 정확히 위치하도록 하고, 팔꿈치를 구부리지 않은 상태에서 오른팔 및 왼팔을 각각 번갈아 가면서 측정하여 2번씩 측정하여 총 4번의 평균값을 기록하였다 (Yoon et al., 2007).

3.4.3 하지 근력

하지 근력은 휴대용 동력계를 사용하여 측정되었는데, 각 참가자는 엉덩이와 무릎을 90°로 구부린 상태로 의자에 반드시 앉아 측정하였다. 각 참가자는 5초 동안 두 번의 최대 수축을 수행하여, 두 번의 시도에서 평균값을 이용하여 평가하였다.

3.4.4 근 기능

근 기능 검사를 위하여 5회 앉았다 일어서기 검사가 진행되었다. CST가 진행되는 의자의 좌석 높이는 기립 동작을 수행함에 있어서 중대한 영향을 미친다고 알려져 있는데 무릎의 높이보다 의자가 낮았을 때 CST 과제에서 더 큰 어려움을 보고하는 것으로 알려져 있다 (Guralnik et al., 1994; Kuo et al., 2013; Weiner et al., 1993). 또한, Kinect 장치의 특성으로 인해 대상자의 몸과 겹쳐 보일 수 있는 등받이가 없어야 대상자 인식이 더 정확하게 이루어지기 때문에 등받이가 없는 의자를 고려하였다. 따라서 동일한 환경에서 같은 강도의 과제를 진행하기 위하여 등받이가 없고 높이 조절이 가능한 스텝박스를 사용하여 검사를 진행하였다. 스텝박스는 5cm 단위로 박스를 추가 및 제거를 할 수 있었고, 대상자의 종아리 길이에 맞춰 박스를 추가 및 제거하였다. 종아리 길이는 평소 신는 신발을 신고 서서 오른쪽 다리의 외측 무릎 관절 선에서 바닥까지 측정하였다. 측정 시작 전에 참가자들에게 발을 바닥에 평평하게 놓고 똑바로 앉은 상태로 팔을 양쪽 어깨에 교차하도록 안내하였고, 측정 시작 시 최대한 빠르게 동작을 수행하도록 안내하였다.

3.4.5 설문 조사

본 연구에서 대상자들의 일상생활 수행 기능을 확인하기 위하여 ADL 설문 조사를 진행하였으며, 근감소증 자가설문 조사인 SARC-F를

실시하였다. ADL 설문 조사는 일상생활 수행능력에 대한 평가로서 노인의 신체 기능 향상을 반영할 수 있는 일상활동을 설문 조사를 통해 측정하게 된다. SARC-F 설문 조사는 5가지 항목인 근력, 보행보조, 의자에서 일어서기, 계단 오르기, 낙상에 대한 질문들을 통하여 본인이 느끼는 불편함의 정도를 표시하여 간편하게 근감소증 여부(10점 만점에 4점 이상이면 근감소증 의심)를 판단할 수 있는 설문지이다.

3.4.6 데이터 전처리 : 스무딩 (Smoothing)

데이터 전처리에서 노이즈로 인한 데이터의 오류를 줄이는 것이 중요하다. 특히 Kinect의 원시 데이터에는 노이즈가 포함되어 있으므로 노이즈와 이상치를 처리하여 모델의 예측 정확도를 올리는 것이 중요하며, 대상자 움직임 주기를 확인하는 것이 필수적이다 (Akbari et al., 2021). 먼저 노이즈 및 이상치를 제거하기 위하여 데이터 전체에 스무딩 작업을 시행하였다. 스무딩 작업에는 이동 평균 필터 (Moving average filter)를 사용하였다 (Akbari et al., 2021). 이동 평균 필터는 최근의 측정값을 토대로 평균값을 계산하고, 새로운 데이터가 들어오면 가장 오래된 데이터를 버리고 다시 측정값들의 평균값을 구하는 방식으로 진행된다. 따라서 노이즈와 이상치에 덜 민감해질 수 있다. 노이즈와 이상치가 있는 데이터에 이동 평균 필터를 적용한 모습은 <Figure 3>에 나타나 있다.

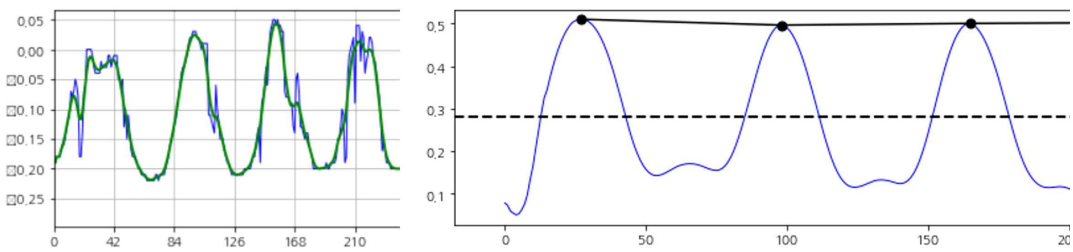


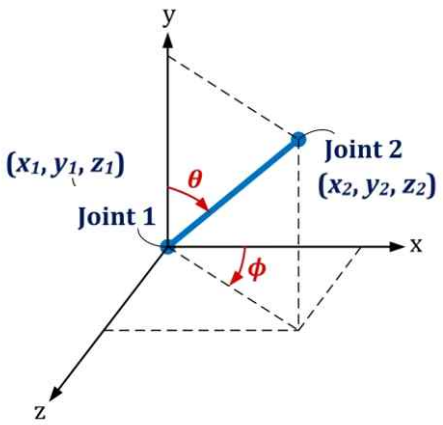

Figure 3. Applying a moving average filter

<Figure 3>은 대상자의 머리의 위아래 좌표를 그래프에 표현한 것으로, 노이즈와 이상치를 제거하고 대상자의 움직임 주기를 보다 명확하게 확인할 수 있다. 해당 그래프에서는 3개의 극대점 (local maximum point)이 확인이 되는데, 이를 통해 대상자가 반듯이 섰을 때를 구분할 수 있게 된다. 따라서 대상자가 실시한 운동 검사에서 각각의 주기를 구분하여 데이터를 분리하였다. 하지만 노이즈로 인해서 극대점이 구분되지 않아 주기가 분리되지 않는 경우 데이터를 삭제하였다. 이를 통해 5회 앉았다 일어서기 검사를 시행한 대상자들은 최대 5개의 데이터가 발생하였다.

3.4.7 데이터 전처리 : 특징 추출 (Feature extraction)

25개의 관절들은 자유분방하게 움직이면서 수많은 데이터를 제공하게 된다. 하지만 관절 각각의 3D 좌푯값만으로는 의미 있는 결과를 도출해내기 힘들다. 따라서 의미가 없던 데이터를 학습할 수 있는 의미 있는 데이터로 만드는 과정을 Feature extraction이라고 한다.

본 연구에서는 변수를 관절의 각도 (Skeletal angle in spherical coordinate), 동작 수행에 소요되는 시간으로 특정할 것이다. 측정되는 관절의 각도에 관한 내용은 <Table 4>에 나타나 있으며, 각 관절에 시상면을 기준으로 앞으로 기울어지는 정도와 횡단면을 기준으로 옆으로 돌아가는 각도의 움직임을 계산할 예정이다. 이를 통해 각 관절의 실시간 각도가 추출될 수 있다.




$$\emptyset = tan^{-1}\left(\frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1}\right)$$

$$\theta = cos^{-1}\left(\frac{y_2 - y_1}{l_r}\right)$$

Table 4. How to Calculate the Angle of a Joint (Akbari et al., 2021)

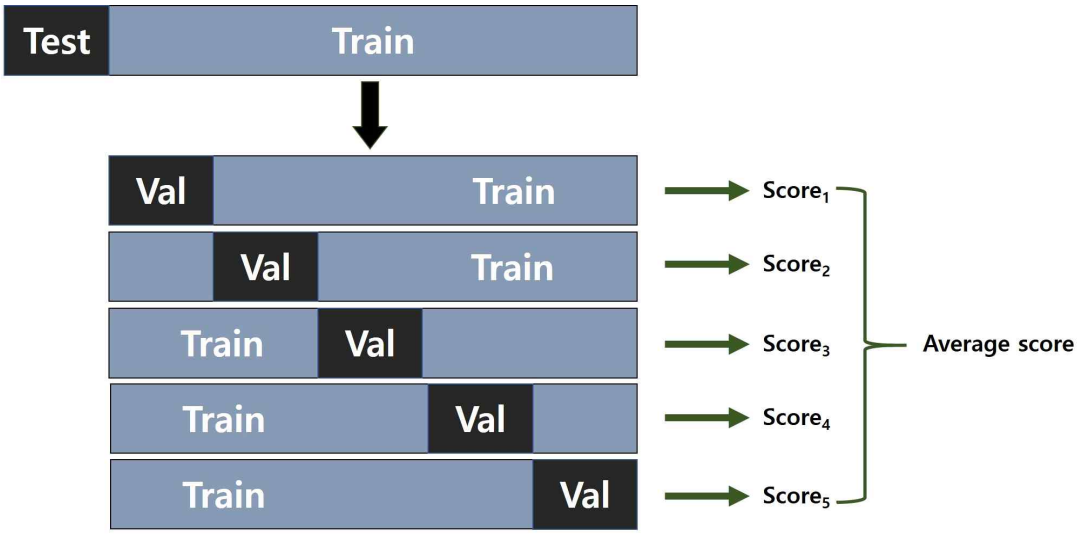
또한, CST 과제의 경우 어느 관절에서 주요한 변화를 관찰할 수 있을지 임의로 판단할 수 없기에 측정된 관절 데이터는 모두 분석에 사용되지만, KMR을 통해 측정된 8주간의 운동 중재 데이터는 KMR이 피드백을 내릴 때 사용하고 있는 주요 관절 부위만을 분석할 예정이다. KMR를 통해 얻게 되는 데이터는 Machine learning으로 학습이 진행되었으며, 변수중요도가 추출되었다.

3.4.8 모델 학습 및 평가

추출된 변인들을 가지고 Random Forest와 Gradient Boosting 모델에 넣었으며, 학습 데이터와 테스트데이터는 전체 데이터 세트 (Dataset)에서 8:2로 나누었다. 학습 데이터와 테스트 데이터는 보통 전체 데이터 세트에서 7:3, 8:2로 나누게 되는데, 모델의 학습 과정에서는 테스트 데이터를 제외한 학습 데이터만 사용이 된다. 테스트 데이터는 모델의 학습이 끝났을 때, 모델에 대해 평가를 하기 위해 사용되며, 학습시켰던 데이터에 모델이 과적합 되어 있는 것은 아닌지 확인하는 과정을 통해 학습된 모델의 일반화의 가능성을 확인하게 된다.

학습 데이터는 5-fold cross validation 과정을 거쳐 학습이 이루어졌으며, 5-fold cross validation은 학습 데이터 전체에서 다시 5등분을 하여 1개의 데이터 세트로 나머지 4개의 데이터 세트로

학습시킨 모델을 평가하고 이 과정을 5번 반복하는 것을 의미한다. 도출된 5개의 정확도 평균을 가지고 평가하기 때문에 적은 수의 데이터 세트로도 과적합을 피할 수 있게 한다. 5-fold cross validation의 과정은 <Figure 5>와 같다.




<Figure 5> Process of 5-fold cross validation

테스트 데이터로는 모델의 성능을 평가할 수 있는데, 모델의 민감도 (Sensitivity)와 정밀도 (Precision), 그리고 AUC(Area under curve)가 확인되었다. 민감도 (Sensitivity)는 모델을 평가할 때, 실제 근감소증 노인이 모델을 통해 근감소증으로 확인될 확률을 의미하며 정밀도 (Precision)는 모델이 대상자에게 근감소증으로 판단하였을 때, 대상자가 실제로 근감소증 노인일 확률을 의미한다. AUC는 Ture positive rate (Sensitivity)와 False positive rate의 변화를 시각화한 그래프로 종합적인 모델의 성능을 나타내는 지표이다. AUC는 1에 가까울수록 좋은 모델로 표현되고, 0.8 ~ 0.9는 좋은 모델, 0.9 ~ 1.0은 훌륭한 모델로 표현된다.

## 3.5 자료 처리

본 연구의 가설을 검증하기 위하여 SPSS 통계 프로그램 (Ver 23.0, Chicago IL, USA)을 이용하여 다음과 같이 분석하였다.

1) 모든 항목은 기술통계를 사용하여 평균(M)과 표준편차 (SD)를 구한다.
2) 검사항목에 대한 근감소증 그룹의 사전과 건강한 그룹 간 차이 검증을 위해 Mann-Whitney U test를 실시한다.
3) 검사항목에 대한 근감소증 그룹의 사후와 건강한 그룹 간 차이 검증을 위해 Mann-Whitney U test를 실시한다.
4) 검사항목에 대한 근감소증 그룹 내 차이 검증을 위해 Wilcoxon test를 실시한다.
5) 운동 중재 데이터에 대한 근감소증 그룹의 사전과 건강한 그룹 간 차이 검증을 위해 Mann-Whitney U test를 실시한다.
6) 운동 중재 데이터에 대한 근감소증 그룹의 사후와 건강한 그룹 간 차이 검증을 위해 Mann-Whitney U test를 실시한다.
7) 운동 중재 데이터에 대한 근감소증 그룹 내 차이 검증을 위해 Wilcoxon test를 실시한다.
8) 모든 통계의 유의 수준은 $p<0.05$로 설정한다.

통계분석을 통해 얻게 된 데이터는 GraphPad Prism (Ver 9.4.1, San Diego, USA)를 통해 그래프로 그려졌으며, Kinect에서 추출된 25가지 관절들의 실시간 3D 좌표 데이터와 데이터의 전처리, Machine learning 각 모델의 학습 과정은 파이썬을 사용하여 분석이 진행되었다.

# 제 4 장 연구 결과

## 4.1 연구 대상

근감소증 그룹 (Sarcopenia group)과 건강한 그룹 (Reference group)의 신체 조성, 악력, KES, KFS, CST를 측정한 결과는 <Table 3>과 같다.

Table 3. Baseline characteristics of the sarcopenia group and the reference group

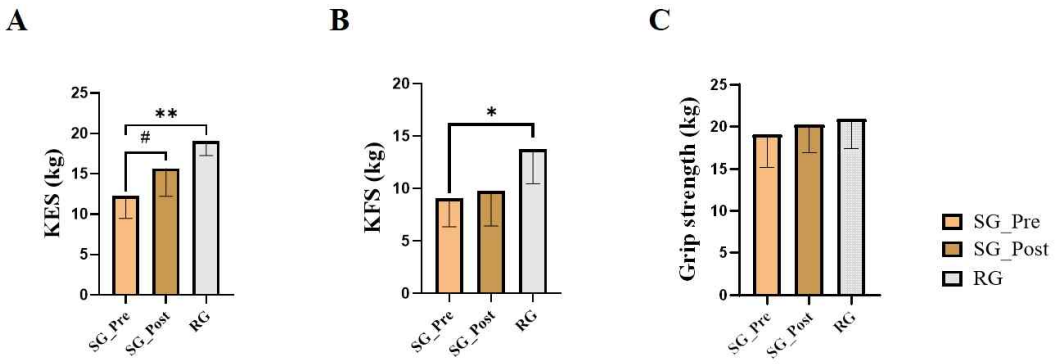
| | Sarcopenia group (n = 8) | Reference group (n = 4) | *P* |
|---|---|---|---|
| **Age** | 80.88±6.49 | 72.75±7.93 | .059 |
| **Height (cm)** | 152.38±4.57 | 152.38±3.30 | .032* |
| **Weight (kg)** | 51.05±4.57 | 60.05±6.87 | .042* |
| **Body fat (kg)** | 21.05±5.76 | 18.31±2.75 | .308 |
| **ASM (kg)** | 5.24±0.27 | 5.94±0.46 | .017* |
| **Grip strength (kg)** | 19.04±3.85 | 20.88±3.46 | .061 |
| **KES (kg)** | 12.27±2.79 | 19.09±1.83 | .006** |
| **KFS (kg)** | 9.05±2.70 | 13.73±3.28 | .027* |
| **RFS** | 29.88±7.89 | 28.75±4.99 | .610 |
| **CST (sec)** | 14.30±6.39 | 10.35±2.22 | .308 |

* ASM, Appendicular skeletal muscle; KES, Knee extension strength; KFS, Knee flexion strength; RFS, Recommended food score; CST, Chair stand test; ** P < 0.05. ** P < 0.01*

두 그룹의 기준선에서 키 (*p*=.032), 몸무게 (*p*=.042), ASM (*p*=.017), KES (*p*=.006), KFS (*p*=.027)에서 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 나이 (*p*=.059), 악력 (*p*=.061), 권장 식품 점수인 RFS (*p*=.610), CST (*p*=.308)에서는 두 그룹 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다.

## 4.2 검사항목별 운동 중재 전후의 그룹 간 비교

SG의 운동 중재 전후와 RG의 검사항목별 특성은 <Figure 6-8> 에 나타나 있다. <Figure 6>의 A에서 SG의 사전 KES 측정값은 RG와 통계적으로 유의한 차이가 나타났지만, 운동 중재 후 SG의 KES가 유의하게 증가하였고, RG와는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않게 되었다. <<Figure 6>의 B에서는 SG의 사전 KFS 측정값이 RG와 통계적으로 유의한 차이가 나타났지만, 운동 중재 후 SG의 KFS가 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, RG와도 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. <Figure 7>의 A와 B에서 SG의 ASM, 몸무게는 RG와 통계적으로 유의한 차이가 나타났고, 운동 중재 후에도 여전히 SG와 RG에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. <Figure 6>의 C에서 SG의 악력과 <Figure 8>의 CST에 대한 측정값은 RG와 유의한 차이가 나타나지 않았으며 운동 중재 후에도 유의한 차이가 발견되지 않았다.



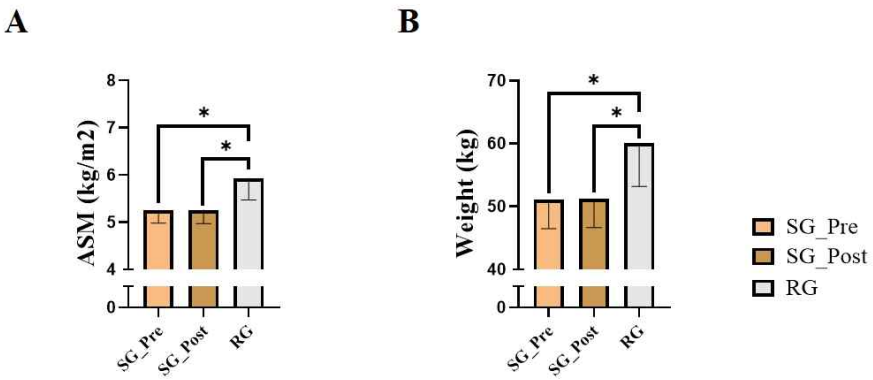

SG_Pre, Sarcopenia group_Pre; SG_Post, Sarcopenia group_Post; RG, Reference group; KES, Knee extension strength; KFS, Knee flexion strength

* : significant difference between SG and RG　　* $p < 0.05$. ** $p < 0.01$

\# : significant difference between SG_Pre and SG_Post　　\# $p < 0.05$. \#\# $p < 0.01$

<Figure 6>의 A, B, C는 SG의 사전과 사후, RG의 그룹별 Knee extension strength와 Knee flexion strength, Grip strength를 나타낸 figure이다.

Figure 6. Differences in muscle strength between groups

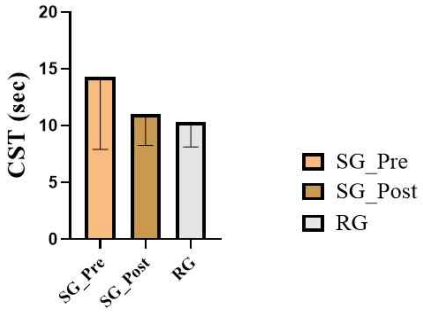



SG_Pre, Sarcopenia group_Pre; SG_Post, Sarcopenia group_Post; RG, Reference group; ASM, Appendicular skeletal muscle mass

* : significant difference between SG and RG * $p < 0.05$. ** $p < 0.01$

<Figure 7>의 A, B는 SG의 사전과 사후, RG의 그룹별 사지골격근량과 몸무게에 대한 figure이다.

Figure 7. Differences in body composition between groups




SG_Pre, Sarcopenia group_Pre; SG_Post, Sarcopenia group_Post; RG, Reference group; CST, Chair stand test

<Figure 8>은 SG의 사전과 사후, RG의 그룹별로 기능 검사인 5회 앉았다 일어서기 검사에 대한 figure이다.

Figure 8. Differences in muscle function between groups

## 4.3 사전 검사에서 두 그룹 간 앉았다 일어서기 자세 특성

사전 검사에서의 두 그룹 간 CST 자세의 특성은 <Table 4>와 같다.

Table 4. Postural characteristics of the CST test at baseline

| | Sarcopenia group (n = 40) | Reference group (n = 19) | *P* |
|---|---|---|---|
| **Standing time (sec)** | 1.67±0.78 | 1.19±0.19 | .029* |
| **Sitting time (sec)** | 1.70±0.73 | 1.18±0.13 | .021* |
| **Right arm (degree)** | 25.04±5.01 | 19.35±8.10 | .012* |
| **Left arm (degree)** | 34.35±11.19 | 22.92±7.42 | <.001** |
| **Right forearm (degree)** | 32.66±29.15 | 11.42±5.787 | <.001** |
| **Left forearm (degree)** | 30.72±25.73 | 14.90±6.75 | .011* |
| **Right thigh (degree)** | 72.14±23.74 | 72.79±5.82 | .961 |
| **Left thigh (degree)** | 72.88±23.77 | 66.16±1.74 | .173 |
| **Right calf (degree)** | 39.48±28.72 | 13.62±8.60 | <.001** |
| **Left calf (degree)** | 28.84±23.98 | 11.18±4.69 | <.001** |
| **Trunk (degree)** | 22.74±7.50 | 20.81±8.73 | .224 |

** P < 0.05. ** P < 0.01*

사전 검사에서 두 그룹은 일어서는 시간 ($p$=.029), 앉는 시간 ($p$=.021), 오른쪽 팔 ($p$=.012), 왼쪽 팔 ($p$<.001), 오른쪽 전완 ($p$<.001), 왼쪽 전완 ($p$=.011), 오른쪽 종아리 ($p$<.001), 왼쪽 종아리 ($p$<.001)에서 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 오른쪽 허벅지 ($p$=.961), 왼쪽 허벅지 ($p$=.173), 몸통 각도 ($p$=.224)에서는 두 그룹 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다.

## 4.4 중재 전후의 앉았다 일어서기 자세 특성 비교

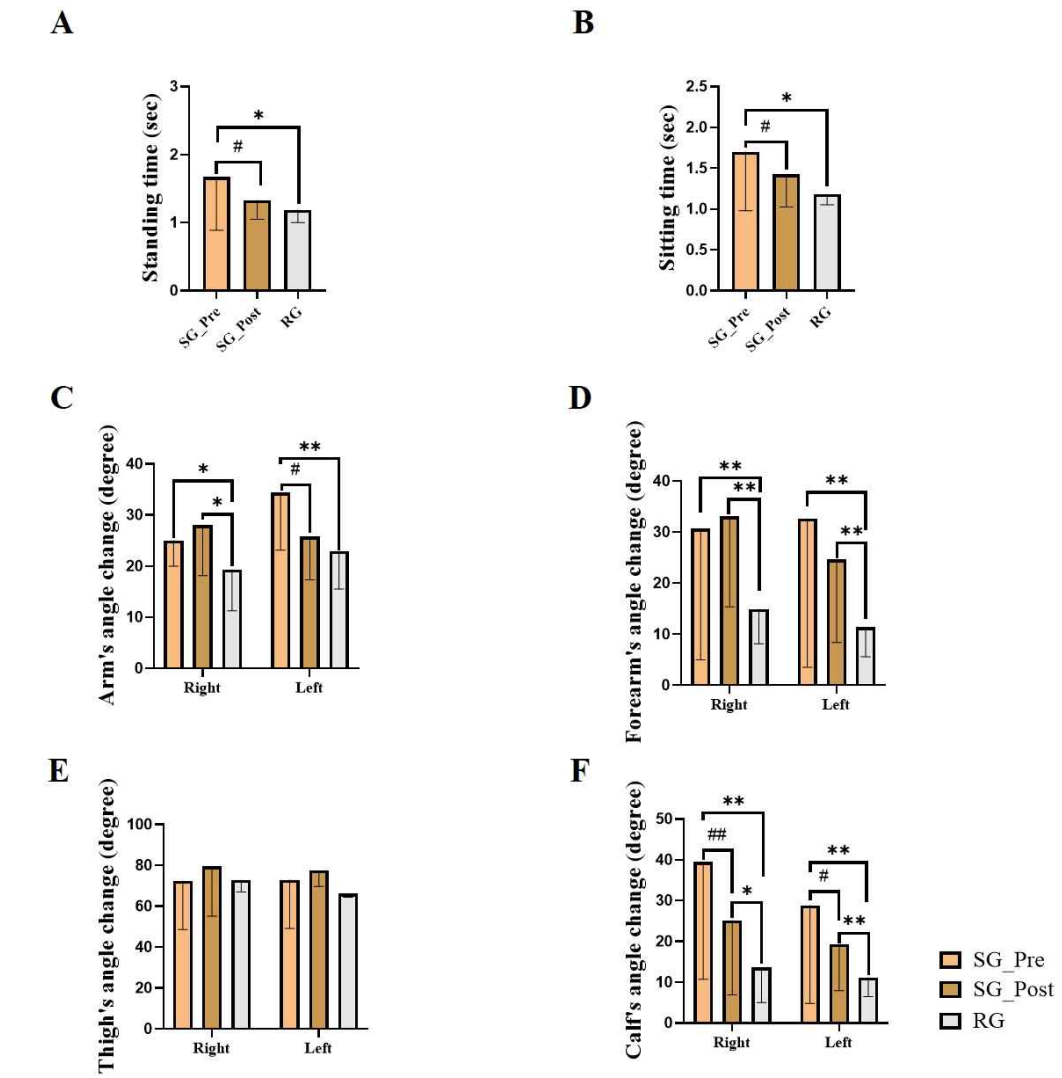
SG의 운동 중재 전후와 RG의 CST 과제에서 각 변인의 특성 비교는 <Figure 9> 에 나타나 있다.

<Figure 9>의 A와 B를 살펴보았을 때, 일어서는 시간과 앉는 시간이 각각 사전 검사에서 SG와 RG가 통계적으로 유의한 차이가 나타났지만, 운동 중재 후 SG의 일어서는 시간과 앉는 시간이 유의하게 감소하였고, RG와는 유의한 차이가 나타나지 않게 되었다.

<Figure 9>의 C와 D를 살펴보았을 때, 왼팔과 오른팔, 왼쪽 전완과 오른쪽 전완 각각의 각도는 사전 검사에서 SG의 값과 RG에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났지만, 운동 중재 후 SG의 왼쪽 팔의 각도가 그룹 내에서 유의하게 감소하여 RG의 왼쪽 팔과는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않게 되었다. 하지만, SG의 오른쪽 팔과 전완의 왼쪽과 오른쪽의 각도는 운동 중재 후에도 그룹 내에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으며, RG와는 여전히 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

<Figure 9>의 E를 살펴보았을 때, 사전 검사에서 SG와 운동 중재 후 SG, 그리고 RG의 허벅지 각도에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

<Figure 9>의 F를 살펴보았을 때, 사전 검사에서 SG와 RG의 왼쪽과 오른쪽 종아리 각도는 통계적으로 각각 유의한 차이가 나타났으며, 운동 중재 후 SG 그룹의 왼쪽과 오른쪽 종아리가 통계적으로 유의하게 감소하였음에도, 여전히 RG와 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.




SG_Pre, Sarcopenia group_Pre; SG_Post, Sarcopenia group_Post; RG, Reference group

* : significant difference between SG and RG — * $p < 0.05$. ** $p < 0.01$

\# : significant difference between SG_Pre and SG_Post — \# $p < 0.05$. \#\# $p < 0.01$

<Figure 9>의 A, B, C, D, E, F는 SG의 사전과 사후, RG의 그룹별 Standing time, Sitting time, Arm's angle change, Forearm's angle change, Thigh's angle change, Calf's angle change를 나타낸 figure이다.

Figure 9. Differences in CST postural characteristics between groups

## 4.5 스쿼트와 숄더 프레스의 변수 중요도

8주간의 운동 중재에서 운동 자세 교육 기간 및 기계 사용법 숙지 기간인 1-2주를 제외한 3주에서의 근감소증 그룹과 레퍼런스 그룹을 분류하는 변수의 중요도를 확인한 결과이다. 변수중요도는 각각 Random Forest와 Gradient Boosting으로 추출되었으며, 추출된 변수중요도는 <Figure 10>과 <Figure 11>에 나타나 있다. 근감소증 그룹과 레퍼런스 그룹의 데이터 개수는 각각 440개, 289개였다.

Random Forest와 Gradient Boosting 두 분류기 모델에서 추출된 변수중요도의 순위는 팔_머리 최소각도, 무릎 각도 변화량, 숄더 프레스 소요 시간순으로 동일하게 나타났고, Random Forest에서는 허리 각도 변화량, 몸통 최대 각도, 무릎 최소 위치가 다음으로 중요한 순서로 나타났다. Gradient Boosting에서는 무릎 최소 위치, 몸통 최대 각도, 몸통 각도 변화량이 이어지는 순위로 나타났다.

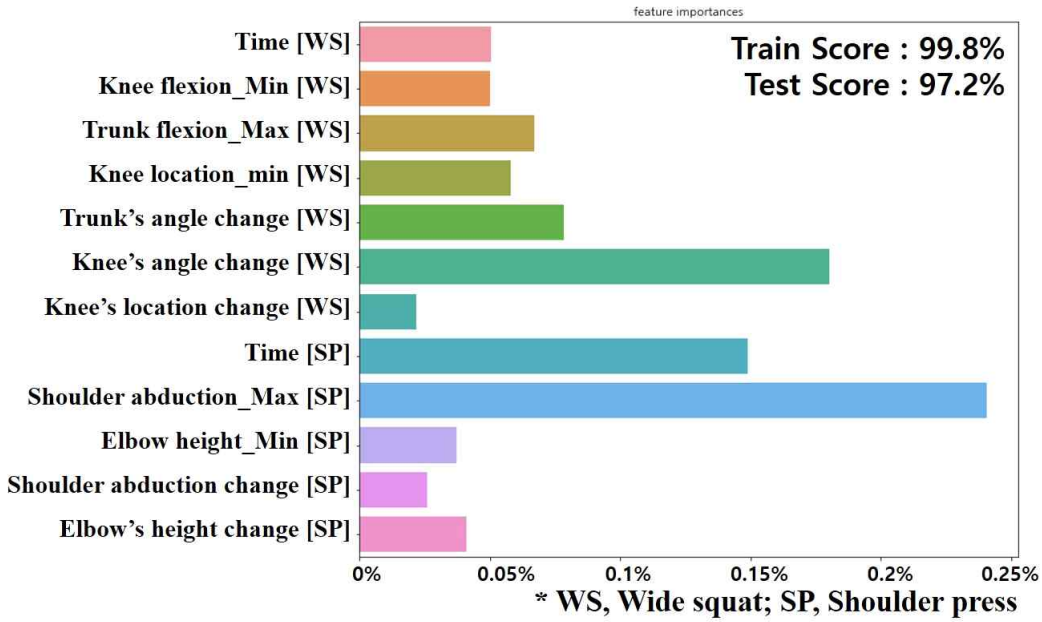



Figure 10. Important features extracted through Random Forest

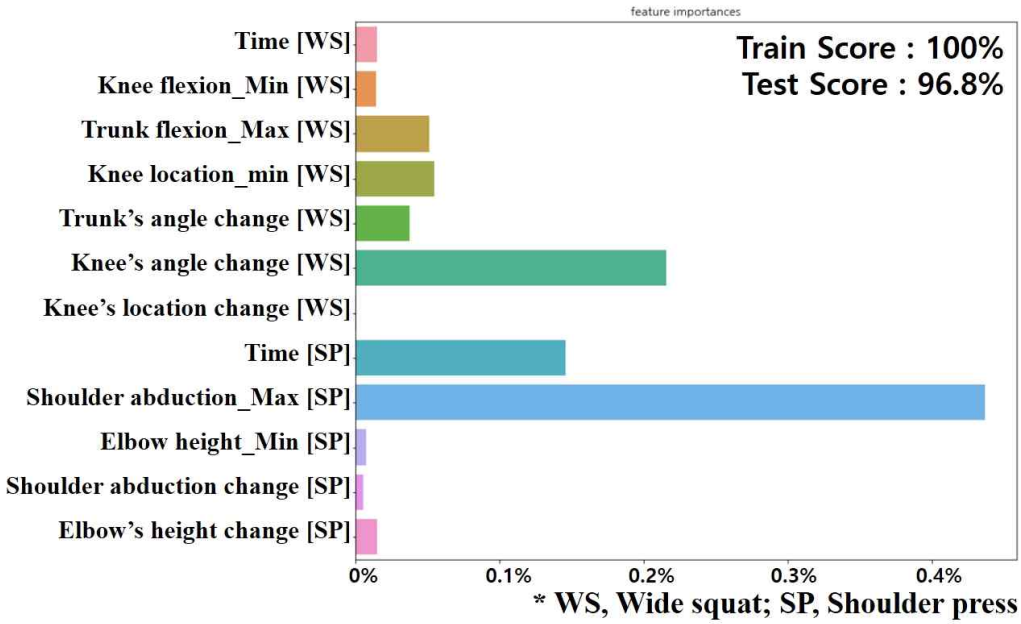



Figure 11. Important features extracted through Gradient Boosting

Random Forest의 Train score와 Test score는 99.8%, 97.2%이며 모델의 민감도는 98.8%, 정밀도는 96.7%, 그리고 AUC는 0.94를 나타내고 있다. 또한, Gradient Boosting의 Train score와 Test score는 100%, 96.8%이며 모델의 민감도는 98.8%, 정밀도는 97.7%, 그리고 AUC는 0.96을 나타내고 있다. 각 모델의 AUC는 <Figure 12>와 <Figure 13>에 나타나 있다.

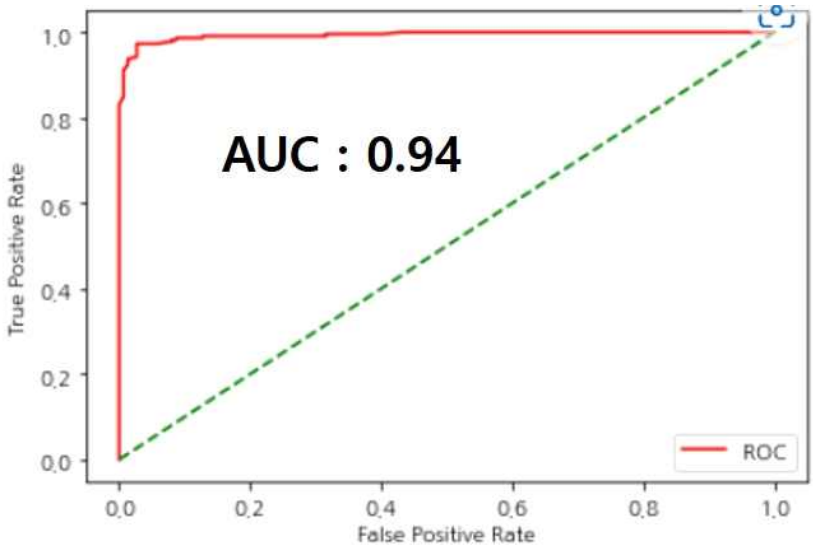



Figure 12. ROC curve and AUC of Random Forest

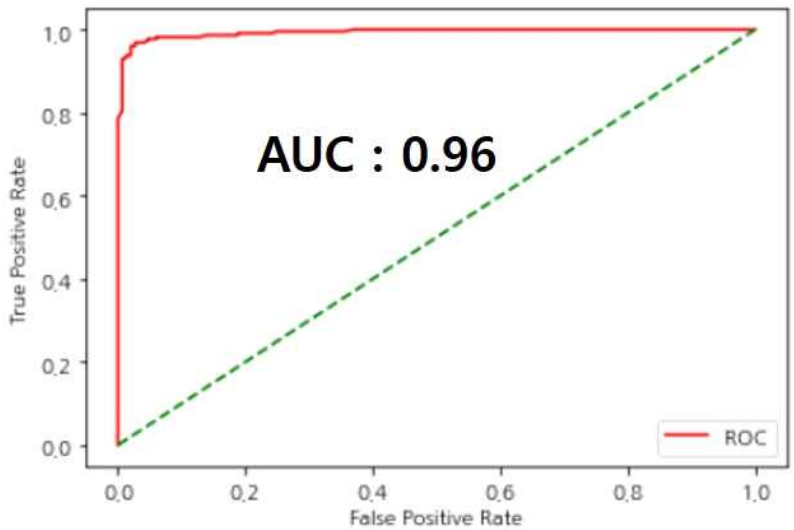



Figure 13. ROC curve and AUC of Gradient Boosting

## 4.6 운동 적응 기간 후 운동 자세별 기준선 특성

2주의 운동 적응 기간이 지난 후 3주 차 기준선에서의 SG와 RG의 운동 자세별 특성은 <Table 5>와 같다. 데이터가 정규성 가정을 충족하지 않기 때문에 비모수 방법으로 분석되었다.

Table 5. Baseline characteristics of each exercise posture in the two groups after the exercise adaptation period

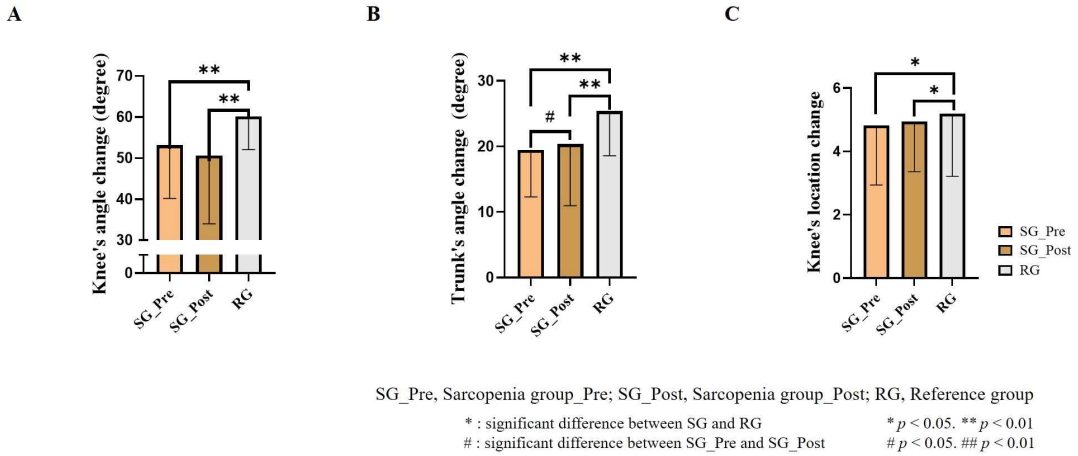
| | Sarcopenia group (n = 440) | Reference group (n = 289) | *P* |
|---|---|---|---|
| [WS] Time (sec) | 3.41±1.16 | 3.14±0.54 | .802 |
| [WS] Knee flexion_Min (degree) | 104.09±11.83 | 98.01±8.64 | <.001** |
| [WS] Trunk flexion_Max (degree) | 23.67±7.74 | 28.96±6.91 | <.001** |
| [WS] Knee location_min | -6.16±2.90 | -5.97±2.71 | .013* |
| [WS] Trunk's angle change (degree) | 19.49±7.17 | 25.39±6.81 | <.001** |
| [WS] Knee's angle change (degree) | 53.13±12.96 | 60.19±8.14 | <.001** |
| [WS] Knee's location change | 5.04±2.56 | 5.23±2.16 | .039* |
| [SP] Time (sec) | 2.76±0.88 | 2.76±0.30 | <.001** |
| [SP] Shoulder abduction_Max (degree) | 24.01±14.09 | 22.27±7.09 | .042* |
| [SP] Elbow height_Min | -5.28±8.72 | -6.47±4.09 | .153 |
| [SP] Shoulder abduction change (degree) | 75.82±20.26 | 78.59±12.75 | .053 |
| [SP] Elbow's height change | 31.61±8.93 | 35.56±5.89 | <.001** |

* WS, Wide squat; SP, Shoulder press * *P* < 0.05. ** *P* < 0.01

무릎 최소각도 ($p$<.001), 몸통 최대 각도 ($p$<.001), 무릎 위치 ($p$=.013), 몸통 각도 변화량 ($p$<.001), 무릎 각도 변화량 ($p$<.001), 무릎 위치 변화량 ($p$=.039), 숄더 프레스 소요시간 ($p$<.001), 팔_머리 최소각도 ($p$=.042), 팔꿈치 높이 변화량 ($p$<.001)에서 두 그룹이 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 하지만 스쿼트 소요시간 ($p$=.802), 팔꿈치 최소 높이 ($p$=.153), 팔_머리 각도 변화량 ($p$=.053)에서 두 그룹이 유의한 차이가 나타나지 않았다.

## 4.7 스쿼트 동작의 중재 전후 그룹 간 특성 비교

사전과 사후에 측정하여 분석하였던 근 기능 검사인 CST 일어서기 과제와 비슷한 동작으로서 하지 근력을 필요로 하는 스쿼트에 대한 분석을 시행하였다. 2주의 운동 적응 기간이 지난 후 3주 차 기준선에서의 SG와 RG, 그리고 SG의 8주 차 스쿼트 동작의 그룹 간 특성은 <Figure 14>와 같다.




<Figure 14>의 A, B, C는 SG의 사전과 사후, RG의 그룹별 Knee's angle change, Trunk's angle change, Knee's location change를 나타낸 figure이다.

Figure 14. Differences in Squat movement characteristics between groups

무릎 각도 변화량과 몸통 각도 변화량, 그리고 무릎 위치 변화량 모두 기준선에서의 SG와 RG 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 하지만 <Figure 14>의 A와 <Figure 14>의 C에서는 8주의 운동 중재를 한 후에도 그룹 내 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 여전히 RG와 유의한 차이가 나타났다. <Figure 14>의 B에서는 운동 중재를 통해 SG 그룹 내에 유의한 차이가 나타났지만, RG와도 여전히 유의한 차이가 나타났다.

# 제 5 장 논의

## 5.1 연구 대상자

근감소증 그룹은 건강한 레퍼런스 그룹보다 평균적으로 높은 나이였지만, 통계적으로는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 하지만, ASM과 KES, 그리고 KFS에서 유의한 차이가 나타나 근감소증 그룹이 비슷한 연령보다 더 근력 저하가 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 근감소증 그룹에서 근력 저하가 나타나고 있음에도 근 기능 평가인 5회 CST에서는 두 그룹 간에 유의한 차이가 나지 않는 것을 확인할 수 있었는데, 실제 일상생활에 대한 어려움을 평가하는 ADL과 SARC-F에 대한 점수에서도 두 그룹 간에 유의한 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

ADL과 SARC-F 모두 일상생활을 하면서 어려움을 느끼는 정도를 평가하는 자가 평가 설문 조사라는 점에서 근감소증 그룹이 하지 근력의 저하가 나타나고 있지만, 건강한 레퍼런스 그룹과 비교하여 일상생활 속에서 느끼는 어려움과 불편함에는 유의한 차이가 없었다. 즉, 근력 저하가 진행되어 근력 수준이 근감소증 진단기준에 해당하지만 근 기능에서는 큰 저하가 나타나지 않아 일상생활에서는 큰 어려움이 없는 집단임이 확인되었다. 이는 근력과 근 기능이 상관관계를 가지고 있지만, 근력이 약해질 수로 더 강한 상관관계가 나타나는 곡선의 형태를 나타내고 있기 때문으로 보인다 (Goodpaster et al., 2006; Paillard 2017). 즉, 근력 저하가 심하게 진행되지 않았다면 근 기능의 저하가 두드러지게 진행되지는 않았을 수 있음을 의미한다. 사전연구 결과에 따라, 모집된 근감소증 노인들은 현재 일상생활을 영위하는 데 어려움이 없지만, 근력 저하를 통한 근 기능의 감소가 진행되고 있으며, 운동 중재를 통해 근력 감소를 지연시키고 예방이 필요한 상태라고 할 수 있다.

## 5.2 검사항목별 운동 중재 전후의 그룹 간 비교

근감소증 그룹과 레퍼런스 그룹의 기준선에서 KES는 통계적으로 유의한 차이가 나타났지만, 근감소증 그룹은 8주간의 운동 중재 이후 KES가 통계적으로 유의하게 상승하였고, 레퍼런스 그룹과는 통계적으로 유의한 차이가 없어졌다. 따라서 8주간의 운동 중재를 마친 근감소증 그룹의 모집단의 KES 평균은 건강한 레퍼런스 그룹의 모집단 평균과 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

근감소증 그룹과 건강한 그룹은 CST 동작을 수행할 때, 일어서는데 걸리는 시간과 앉는데 걸리는 시간에서 두 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이가 발견되었다. 이는 노쇠한 노인들에게서 CST 과제를 수행하게 할 때, 일어서는 시간이 증가한다는 사전연구와 동일한 결과로서 (Hassani et al., 2015; Santos et al., 2012; Sardinha et al., 2015) 동작을 수행하는데 소요되는 시간이 근감소증을 구분하는데 중요한 요소임을 확인할 수 있다. 또한, 팔과 전완의 각도 모두에서 두 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있는데, CST 과제는 전방 및 상향 방향으로 신체의 질량 중심 (Center of mass)이 3단계로 나뉘어 이동하게 되는 과제이다. 1단계는 전방으로 질량 중심이 가속하는 단계, 2단계는 전방으로 향하는 질량 중심의 감속 및 상향으로 질량 중심 가속 단계, 그리고 3단계는 전방 및 상향으로 감속하는 단계이다. 이 모든 과정은 하지근력에 의해 제어된다고 알려져 있으며 (Kuramatsu et al., 2012), 하지근력이 약한 경우 전방으로 질량 중심이 가속하는 단계에서 상체가 전방으로 더 굴곡된다고 보고되고 있다 (Hassani et al., 2015).

팔과 전완의 각도 모두에서 두 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 반면 허벅지의 각도 변화량에서는 두 그룹 간에 유의한 차이가 나타나지 않아 하체보다는 상체의 각도 변화량에서 두 그룹이 유의하게 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 특히, 하체 근력의 부족한 근감소증 그룹에서는 어깨를 감싸고 있는 팔과 전완의 각도가 더 역동적으로 변화하는 것을 확인할 수 있는데, 이는

사전연구에서 CST 과제를 수행할 때 하지 근력이 약한 경우 전방으로 질량 중심이 가속하는 단계에서 상체가 전방으로 더 굴곡시키는 것과 같이 상체의 역동적인 움직임을 통해 보상받는 것과 일치한다 (Hassani et al., 2015; Lummel et al., 2018).

운동 중재 전에 근감소증 그룹이 CST 과제에서는 레퍼런스 그룹보다 상체의 움직임이 더 역동적으로 나타나는 것을 확인할 수 있었지만, 근감소증 그룹이 8주간에 운동 중재를 통해 KES가 통계적으로 유의하게 상승하여 레퍼런스 그룹과는 유의한 차이가 나지 않게 된 이후에는 CST 과제를 다시 수행하였을 때, 앉는데 걸리는 시간과 일어서는 시간, 그리고 왼쪽 팔의 각도 변화량이 운동 중재 전과 비교하여 통계적으로 유의하게 감소하였고 레퍼런스 그룹과는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않게 되었다. 이를 통해 근감소증 그룹의 근력 향상이 자세의 변화를 가져오고 레퍼런스 그룹과 비슷해진 것을 확인할 수 있으며, CST 과제에서 대퇴사두근의 근력이 가장 중요하게 작용하고 있다는 연구 결과에 따라 (Khemlani et al., 1999) 운동 중재를 통한 KES의 근력 강화가 CST 과제에서의 상체 움직임의 안정화를 가져왔다고 볼 수 있다.

## 5.3 운동 항목별 그룹 간 비교

8주간의 운동 중재에서 운동 자세 교육 기간 및 기계 사용법 숙지 기간인 1-2주를 제외한 3주에서의 근감소증 그룹과 레퍼런스 그룹을 분류하는 변수의 중요도를 확인하였을 때, 숄더프레스의 팔_머리 최소각도, 와이드 스쿼트의 무릎 각도 변화량, 숄더프레스의 소요시간이 Random Forest와 Gradient Boosting에서 공통으로 추출되었다. 이는 두 그룹을 분류하는 모델을 만들 때 위의 3가지 변인이 중요하게 작용하고 있음을 나타내고 있다. 숄더프레스의 경우 근감소증 그룹이 진행할 때, 레퍼런스 그룹과 비교하면 더 느린 속도로 진행하였으며 팔을 머리까지 가까이 붙이지 못한 것을 확인할 수 있다. 와이드 스쿼트에서는 근감소증 그룹이 동작을 수행할 때 무릎을 더 많이 굽히지 못하였음을 확인할 수 있으며 해당 변인들의 특징들이 두 그룹을 구분하는데 주요했음을 변수중요도를 통해 확인할 수 있다.

2주간의 운동 적응 기간이 지나고 3주 차의 기준선에서 근감소증 그룹과 레퍼런스 그룹은 와이드 스쿼트의 거의 모든 변인에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 하지만 8주간의 운동 중재가 끝난 이후에도 여전히 무릎 각도와 몸통 각도, 무릎 위치의 변화량들이 레퍼런스 그룹과 통계적으로 유의한 차이가 나타나고 있음을 확인할 수 있었는데, 근감소증 그룹이 8주간의 운동 중재를 통해 KES의 향상됨에 따라 CST 과제에서 상체의 안정화를 가져오고 레퍼런스 그룹과 통계적으로 유의한 차이가 없어진 것과는 반대되는 결과이다. 이는 CST 과제가 KES와 관련이 있는 대퇴사두근에 가장 의존하는 반면 (Khemlani et al., 1999), 스쿼트는 다관절 운동으로서 Hip extensors, Knee extensors, and ankle plantar flexor와 같이 다양한 근육군이 동원되어야 하므로 (Flanagan et al., 2003) 근감소증 그룹의 KES가 통계적으로 유의하게 향상되었음에도 스쿼트의 동작패턴은 변화하지 않을 수 있다.

Random Forest와 Gradient Boosting을 통해 만들어진 근감소증 진단

모델은 테스트 점수와 민감도, 정밀도, AUC 모두 훌륭한 수치를 나타내고 있다. 하지만 일반화의 측면에서 모델의 성능을 확인하고자 한다면, 새로운 대상자를 모집하여 검증하는 과정이 필요하다.

## 5.4 제한점

본 연구에서는 운동 검사와 운동 중재 데이터에서 1회의 동작을 하나의 데이터로 간주하고 데이터를 증폭하여 729개의 데이터가 추출되었음에도 정규성 가정을 만족하지 못하여 비모수 검정을 시행하게 되었다. 이는 COVID-19의 여파로 대상자가 12명인, 상대적으로 적은 수의 대상자가 모집되어 분석이 진행되었기 때문으로 추정된다. 또한, Kinect 자체가 가지는 노이즈와 이상치로 인해 운동 중재 데이터의 6가지 운동 중에서 2가지 운동만을 가지고 분석을 진행하게 되었다. 또한, 8주간의 운동 중재 기간은 근감소증 노인들의 운동 중재 동작패턴의 변화를 가져오기에는 비교적 짧았던 것으로 보인다. 따라서 추후 더 많은 대상자를 대상으로 더 오랜 시간 운동 중재를 시행하여 대상자들의 동작패턴 변화를 관찰하려 한다. 그리고 본 연구를 통해 만들었던 근감소증 진단 모델을 새로운 대상자에게 적용하는 것을 목표로 한다.

# 제 6 장 결론

CST 검사를 통해 근감소증 노인에게서 건강한 그룹과는 다른 동작패턴을 확인할 수 있었으며, 운동 중재를 통해서 하지 근력이 향상된다면 CST 동작의 패턴 변화를 가져올 수 있음을 확인하였다. 이를 통해 단순 동작의 자세만으로 근력 수준을 예측하고 분류할 수 있는 예측 모델을 만들 수 있음을 확인하였다.

다관절 운동인 와이드 스쿼트에서는 Machine learning 분류모델의 변수중요도 추출 과정을 통해 두 그룹을 구분하는 주요 변수들이 확인 가능하였지만 8주간의 운동 중재 기간으로 해당 변인들의 동작패턴의 변화를 가져오기 힘들었으며, 추후에 운동 중재 기간을 늘려 다관절 운동에서도 동작패턴의 변화가 가능한지 연구가 필요하다. 또한, 본 연구에서 와이드 스쿼트와 숄더프레스를 통해 근감소증 그룹을 진단하는 모델에서 좋은 수치를 나타내고 있음을 확인하였기 때문에 추후 새로운 대상자들을 통한 연구가 필요하다.

# 참 고 문 헌


강승애. (2015). 노인 체육론. 서울특별시: 대한미디어.

김헌경. (2019). 근육이 연금보다 강하다. 서울특별시: 비타북스

박래준, 손호희, 조정선, 오현주, 이현희, 이문환, & 김성길. (2011). 노인요양병원 입원환자의 TUG, FRT 와 SPPB 와의 상관관계 연구. *대한물리치료학회지*, 23(2), 17-21.

한재윤, & 이경전. (2017). 금융 시장 예측을 위한 앙상블 접근: 스태킹과 롤링 윈도우를 중심으로. *한국지능정보시스템학회 학술대회논문집*, 54-55.

Abe, T., Sakamaki, M., Yasuda, T., Bemben, M. G., Kondo, M., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2011). Age-related, site-specific muscle loss in 1507 Japanese men and women aged 20 to 95 years. *Journal of Sports Science & Medicine*, *10*(1), 145.

Abobakr, A., Nahavandi, D., Hossny, M., Iskander, J., Attia, M., Nahavandi, S., & Smets, M. (2019). RGB-D ergonomic assessment system of adopted working postures. *Applied Ergonomics*, *80*, 75-88.

Akbari, G., Nikkhoo, M., Wang, L., Chen, C. P., Han, D. S., Lin, Y. H., ... & Cheng, C. H. (2021). Frailty level classification of the community elderly using Microsoft Kinect-based skeleton pose: A machine learning approach. *Sensors*, *21*(12), 4017.

Arai, H., Wakabayashi, H., Yoshimura, Y., Yamada, M., Kim, H., & Harada, A. (2018). Chapter 4 Treatment of sarcopenia. *Geriatrics & Gerontology International*, *18*, 28-44.

Assantachai, P., Muangpaisan, W., Intalapaporn, S., Sitthichai, K., & Udompunturak, S. (2014). Cut-off points of quadriceps strength, declines and relationships of sarcopenia-related variables among Thai community-dwelling older adults. Geriatrics & Gerontology International, 14 Suppl 1, 61–68. https://doi.org/10.1111/ggi.12207

Bachettini, N. P., Bielemann, R. M., Barbosa-Silva, T. G., Menezes, A.,

Tomasi, E., & Gonzalez, M. C. (2020). Sarcopenia as a mortality predictor in community-dwelling older adults: a comparison of the diagnostic criteria of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *European Journal of Clinical Nutrition*, 74(4), 573– 580. https://doi.org/10.1038/s41430-019-0508-8

Bong, Y., & Song, W. (2020). The effects of elastic band exercises and nutritional education on frailty, strength, and nutritional intake in elderly women. *Physical Activity and Nutrition*, *24*(1), 37.

Cadore, E. L., Casas-Herrero, A., Zambom-Ferraresi, F., Idoate, F., Millor, N., Gómez, M., ... & Izquierdo, M. (2014). Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *Age*, *36*, 773-785.

Cebrià I Iranzo, M. À., Balasch-Bernat, M., Tortosa-Chuliá, M. Á., & Balasch-Parisi, S. (2018). Effects of Resistance Training of Peripheral Muscles Versus Respiratory Muscles in Older Adults With Sarcopenia Who are Institutionalized: A Randomized Controlled Trial. Journal of Aging and Physical Activity, 26(4), 637–646. https://doi.org/10.1123/japa.2017-0268

Chen, H. T., Chung, Y. C., Chen, Y. J., Ho, S. Y., & Wu, H. J. (2017). Effects of different types of exercise on body composition, muscle strength, and IGF－1 in the elderly with sarcopenic obesity. *Journal of the American Geriatrics Society*, *65*(4), 827-832.

Chen, H. T., Wu, H. J., Chen, Y. J., Ho, S. Y., & Chung, Y. C. (2018). Effects of 8-week kettlebell training on body composition, muscle strength, pulmonary function, and chronic low-grade inflammation in elderly women with sarcopenia. *Experimental Gerontology*, *112*, 112-118.

Chen, Y. C., Hsieh, J. W., Yang, Y. H., Lee, C. H., Yu, P. Y., Chen, P. Y., & Santa, A. S. (2021, September). Towards Deep Learning-Based Sarcopenia Screening with Body Joint Composition Analysis. In 2021

IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (pp. 3807-3811). IEEE.

Chiu, S. C., Yang, R. S., Yang, R. J., & Chang, S. F. (2018). Effects of resistance training on body composition and functional capacity among sarcopenic obese residents in long-term care facilities: a preliminary study. *BMC Geriatrics*, *18*(1), 1-11.

Curcio, F., Ferro, G., Basile, C., Liguori, I., Parrella, P., Pirozzi, F., Della-Morte, D., Gargiulo, G., Testa, G., Tocchetti, C. G., Bonaduce, D., & Abete, P. (2016). Biomarkers in sarcopenia: A multifactorial approach. *Experimental Gerontology*, *85*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.exger.2016.09.007

De'ath, G., & Fabricius, K. E. (2000). Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, *81*(11), 3178-3192.

Fielding, R. A., Vellas, B., Evans, W. J., Bhasin, S., Morley, J. E., Newman, A. B., ... & Zamboni, M. (2011). Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia. *Journal of the American Medical Directors Association*, *12*(4), 249-256.

Fried, L. P., Tangen, C. M., Walston, J., Newman, A. B., Hirsch, C., Gottdiener, J., ... & McBurnie, M. A. (2001). Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *56*(3), M146-M157.

Goodpaster, B. H., Park, S. W., Harris, T. B., Kritchevsky, S. B., Nevitt, M., Schwartz, A. V., ... & Newman, A. B. (2006). The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *61*(10), 1059-1064.

Guralnik, J. M., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., Glynn, R. J., Berkman, L. F., Blazer, D. G., ... & Wallace, R. B. (1994). A short physical

performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *Journal of Gerontology*, *49*(2), M85-M94.

Hassani, A., Kubicki, A., Brost, V., Mourey, F., & Yang, F. (2015). Kinematic analysis of motor strategies in frail aged adults during the Timed Up and Go: how to spot the motor frailty?. *Clinical Interventions in Aging*, *10*, 505.

Iwamura, M., & Kanauchi, M. (2017). A cross-sectional study of the association between dynapeniaand higher-level functional capacity in daily living in community-dwelling older adults in Japan. *BMC Geriatrics*, *17*(1), 1-6.

Jang H. C. (2018). How to Diagnose Sarcopenia in Korean Older Adults?. *Annals of Geriatric Medicine and Research*, *22*(2), 73–79. https://doi.org/10.4235/agmr.2018.22.2.73

Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z., & Ross, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *Journal of Applied Physiology*.

Janssen, I., Shepard, D. S., Katzmarzyk, P. T., & Roubenoff, R. (2004). The healthcare costs of sarcopenia in the United States. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52(1), 80–85. https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2004.52014.x

Jung, W. S., & Lee, M. G. (2017). Effects of a 12-week circuit training on daily living fitness, isokinetic function, and biochemical property of muscle in sarcopenia elderly women. *The Korean Journal of Physical Education*, *56*(5), 679-691.

Khemlani, M. M., Carr, J. H., & Crosbie, W. J. (1999). Muscle synergies and joint linkages in sit-to-stand under two initial foot positions. *Clinical Biomechanics*, *14*(4), 236-246.

Khongsri, N., Tongsuntud, S., Limampai, P., & Kuptniratsaikul, V. (2016). The prevalence of sarcopenia and related factors in a community-dwelling

elders Thai population. *Osteoporosis and Sarcopenia*, *2*(2), 110-115.

Kuo Y. L. (2013). The influence of chair seat height on the performance of community-dwelling older adults' 30-second chair stand test. *Aging Clinical and Experimental Research*, *25*(3), 305–309. https://doi.org/10.1007/s40520-013-0041-x

Kuramatsu, Y., Muraki, T., Oouchida, Y., Sekiguchi, Y., & Izumi, S. I. (2012). Influence of constrained visual and somatic senses on controlling centre of mass during sit-to-stand. *Gait & Posture*, *36*(1), 90-94.

Kim, S. H., Shin, M. J., Shin, Y. B., & Kim, K. U. (2019). Sarcopenia associated with chronic obstructive pulmonary disease. *Journal of Bone Metabolism*, *26*(2), 65-74.

Liao, C. D., Tsauo, J. Y., Huang, S. W., Ku, J. W., Hsiao, D. J., & Liou, T. H. (2018). Effects of elastic band exercise on lean mass and physical capacity in older women with sarcopenic obesity: A randomized controlled trial. *Scientific Reports*, *8*(1), 1-13.

Lim, W. S., Cheong, C. Y., Lim, J. P., Tan, M. M. Y., Chia, J. Q., Malik, N. A., & Tay, L. (2022). Singapore Clinical Practice Guidelines For Sarcopenia: Screening, Diagnosis, Management and Prevention. *The Journal of Frailty & Aging*, 1-22.

Lim, S., Kim, J. H., Yoon, J. W., Kang, S. M., Choi, S. H., Park, Y. J., ... & Jang, H. C. (2010). Sarcopenic obesity: prevalence and association with metabolic syndrome in the Korean Longitudinal Study on Health and Aging (KLoSHA). *Diabetes Care*, *33*(7), 1652-1654.

Lu, Y., Niti, M., Yap, K. B., Tan, C. T. Y., Nyunt, M. S. Z., Feng, L., ... & Ng, T. P. (2019). Assessment of sarcopenia among community-dwelling at-risk frail adults aged 65 years and older who received multidomain lifestyle interventions: a secondary analysis of a randomized clinical trial. *JAMA Network Open*, *2*(10), e1913346-e1913346.

Lu, Y., Karagounis, L. G., Ng, T. P., Carre, C., Narang, V., Wong, G., ... & Larbi, A. (2020). Systemic and metabolic signature of sarcopenia in

community-dwelling older adults. *The Journals of Gerontology: Series A*, *75*(2), 309-317.

Lu, Y., Niti, M., Yap, K. B., Tan, C. T. Y., Nyunt, M. S. Z., Feng, L., ... & Ng, T. P. (2021). Effects of multi-domain lifestyle interventions on sarcopenia measures and blood biomarkers: secondary analysis of a randomized controlled trial of community-dwelling pre-frail and frail older adults. *Aging (Albany NY)*, *13*(7), 9330.

Maltais, M. L., Ladouceur, J. P., & Dionne, I. J. (2016). The effect of resistance training and different sources of postexercise protein supplementation on muscle mass and physical capacity in sarcopenic elderly men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(6), 1680-1687.

Manini, T. M., & Clark, B. C. (2012). Dynapenia and aging: an update. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, *67*(1), 28-40.

Matsumoto, T., Nakamura, K., Matsumoto, H., Sakai, R., Kuwahara, T., Kadota, Y., ... & Shimomura, Y. (2014). Bolus ingestion of individual branched-chain amino acids alters plasma amino acid profiles in young healthy men. *Springerplus*, *3*(1), 1-13.

Nascimento, C. M., Ingles, M., Salvador-Pascual, A., Cominetti, M. R., Gomez-Cabrera, M. C., & Viña, J. (2019). Sarcopenia, frailty and their prevention by exercise. *Free Radical Biology and Medicine*, *132*, 42-49.

Paillard, T. (2017). Relationship between muscle function, muscle typology and postural performance according to different postural conditions in young and older adults. *Frontiers in Physiology*, *8*, 585.

Pavlov, Y. L. (2019). Random forests. In *Random Forests*. De Gruyter.

Pillay, N., Qu, R., Srinivasan, D., Hammer, B., & Sorensen, K. (2018). Automated design of machine learning and search algorithms [guest editorial]. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, *13*(2), 16-17.

Pinedo-Villanueva, R., Westbury, L. D., Syddall, H. E., Sanchez-Santos, M. T., Dennison, E. M., Robinson, S. M., & Cooper, C. (2019). Health Care Costs Associated With Muscle Weakness: A UK Population-Based Estimate. *Calcified Tissue International*, 104(2), 137–144. https://doi.org/10.1007/s00223-018-0478-1

Santos, D. A., Silva, A. M., Baptista, F., Santos, R., Vale, S., Mota, J., & Sardinha, L. B. (2012). Sedentary behavior and physical activity are independently related to functional fitness in older adults. *Experimental Gerontology*, *47*(12), 908-912.

Sardinha, L. B., Santos, D. A., Silva, A. M., Baptista, F., & Owen, N. (2015). Breaking-up sedentary time is associated with physical function in older adults. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, *70*(1), 119-124.

Tieland, M., Verdijk, L. B., de Groot, L. C., & van Loon, L. J. (2015). Handgrip strength does not represent an appropriate measure to evaluate changes in muscle strength during an exercise intervention program in frail older people. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *25*(1), 27-36.

Vikberg, S., Sörlén, N., Brandén, L., Johansson, J., Nordström, A., Hult, A., & Nordström, P. (2019). Effects of resistance training on functional strength and muscle mass in 70-year-old individuals with pre-sarcopenia: a randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Directors Association*, *20*(1), 28-34.

Weiner, D. K., Long, R., Hughes, M. A., Chandler, J., & Studenski, S. (1993). When older adults face the chair‐rise challenge: a study of chair height availability and height‐modified chair‐rise performance in the elderly. *Journal of the American Geriatrics Society*, *41*(1), 6-10.

Woldegiorgis, B. H., Lin, C. J., & Sananta, R. (2021). Using Kinect body joint detection system to predict energy expenditures during physical

activities. *Applied Ergonomics*, *97*, 103540.

Won, C. W. (2020). Diagnosis of sarcopenia in primary health care. *Journal of the Korean Medical Association*, *63*(10), 633-641.

Wu, X., Li, X., Xu, M., Zhang, Z., He, L., & Li, Y. (2021). Sarcopenia prevalence and associated factors among older Chinese population: Findings from the China Health and Retirement Longitudinal Study. *PLoS One*, *16*(3), e0247617.

Yamada, Y., Kimura, M., Nakamura, E., Masuo, Y., & Oda, S. (2007). Limb muscle mass decrease with aging in Japanese men and women aged 15-97 yr. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 461-472.

Yoshimura, Y., Wakabayashi, H., Yamada, M., Kim, H., Harada, A., & Arai, H. (2017). Interventions for treating sarcopenia: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *Journal of the American Medical Directors Association*, *18*(6), 553-e1.

Yoon, D. H., Kang, D., Kim, H. J., Kim, J. S., Song, H. S., & Song, W. (2017). Effect of elastic band‐based high‐speed power training on cognitive function, physical performance and muscle strength in older women with mild cognitive impairment. *Geriatrics & Gerontology International*, 17(5), 765-772.

Yu, J., Shin, M., & Kwon, T. (2017). Analysis of research trend on machine learning based malware mutant identification. *Review of KIISC*, *27*(3), 12-19.

Zdzieblik, D., Oesser, S., Baumstark, M. W., Gollhofer, A., & König, D. (2015). Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: a randomised controlled trial. *British Journal of Nutrition*, *114*(8), 1237-1245.

## Abstract

# Analysis of movement patterns using machine learning in sarcopenic elderly

Yunho Sung

Department of Physical Education

The Graduate School

Seoul National University

Introduction : It has been reported that changes in exercise patterns due to muscle weakness appear among the elderly with sarcopenia. Also, performing the 5-time chair stand test (CST), which is used as a diagnostic criterion for sarcopenia, requires lower extremity strength, and a study has shown that unique movement pattern appears in the frailty elderly. Therefore, the purpose of this study was to observe the changes of movement after exercise intervention.

Methods : 15 females (79±7.78) participated in 8-week exercise intervention. They were assigned into a sarcopenia group (SG, n=8) or a reference group (RG, n=4) based on the knee extension strength (KES) cut-off at 18 kg. Body composition, KES, and grip strength were measured at pre-and post-test for both group, and CST was performed by using the Kinect motion device. Participants in SG were asked to perform wide squats and

shoulder press 2 times per week and their motions were captured by using a Kinect-based device and analyzed the data by using Python. The data from the first 2 weeks of exercise adaptation were excluded and only data from week 3 and week 8 were used for analysis. RG was considered as a reference group for the healthy population, and only data from the pre-test and week 3 of the exercise intervention were used for analysis. The motion patterns of the two groups were learned with Random Forest and Gradient Boosting models, and variable importance was extracted.

Results : There were significant differences in KES and CST between SG and RG in the pre-test. SG showed a significant increase ($p$=.002) in KES. Therefore, there were no significant difference in KES ($p$=.054) between SG and RG after the intervention. SG showed a significant decrease in sitting time ($p$=.011) and arm angle when forwardly tilted ($p$=.024) while performing CST after 8 weeks of intervention. Therefore, there were no significant difference in CST between SG and RG after the intervention. After the exercise intervention adaptation period, as a result of learning the exercise data of the two groups with Random Forest and Gradient Boosting, it was possible to classify the two groups as 97.2% and 96.8%, respectively. The angle of arm lift during shoulder press exercise, the angle of knee during wide squat exercise, and the performance time during shoulder press exercise were extracted in order of variable importance. A wide squat similar to the sit-to-stand test was analyzed. However, no significant difference while executing the wide squat was observed on knee and trunk angle at SG when compare with reference group at the end of intervention.

Conclusion : Exercise has been proven to improve KES and CST results after 8 weeks of intervention but no changes in motion patterns have been shown in the wide squats as it is one of the complex and multi-joint exercises. CST can be used to determine the changes in exercise patterns for people with sarcopenia. However, further studies are needed to confirm

these results.

**Keywords : Sarcopenia, muscle strength, movement patterns, Random Forest, Gradient Boosting, feature importance**
***Student Number* : 2020-27872**