노인 낙상 - 넘어짐 그리고 인체손상의 과학, 넘어지면 다 죽는가?: 문헌 고찰

최우철, 임기택, 김승수, 이세영

연세대학교 물리치료학과 낙상예방생체역학연구실

Science of Falling and Injury in Older Adults - Do All Falls Lead to Death?: Literature Review

Woochol Joseph Choi, PT, PhD, Kitaek Lim, PT, BPT, Seung-su Kim, PT, BPT, Se-young Lee, PT, BPT

Injury Prevention and Biomechanics Laboratory, Department of Physical Therapy, Yonsei University, Wonju, Korea

Article Info

Received July 9, 2021

Revised July 22, 2021

Accepted July 25, 2021

Corresponding Author

Woochol Joseph Choi

E-mail: wjchoi@yonsei.ac.kr

<https://orcid.org/0000-0002-6623-3806>

Key Words

Biomechanics

Falls

Hip fractures

Prevention

Risk assessment

Understanding sciences behind fall-related hip fractures in older adults is important to develop effective interventions for prevention. The aim of this review is to provide biomechanical understanding and prevention strategies of falls and related hip fractures in older adults, in order to guide future research directions from biomechanical perspectives. While most hip fractures are due to a fall, a few of falls are injurious causing hip fractures, and most falls are non-injurious. Fall mechanics are important in determining injurious versus non-injurious falls. Many different biomechanical factors contribute to the risk of hip fracture, and effects of each individual factors are known well. However, combining effects, and correlation and causation among the factors are poorly understood. While fall prevention interventions include exercise, vision correction, vitamin D intake and environment modification, injury prevention strategies include use of hip protectors, compliant flooring and safe landing strategies, vitamin D intake and exercise. While fall risk assessments have well been established, limited efforts have been made for injury risk assessments. Better understanding is necessary on the correlation and causation among factors affecting the risk of falls and related hip fractures in older adults. Development of the hip fracture risk assessment technique is required to establish more efficient intervention models for fall-related hip fractures in older adults.

INTRODUCTION

노인 낙상 문제 해결을 위해 오래전부터 해외뿐만 아니라 국내에서도 여러 학문 분야에서 적지 않은 연구와 노력이 있어 왔다. 그럼에도 불구하고 통계를 보면, 그 문제는 해결되지 않고 오히려 증가하고 있음을 확인할 수 있다[1,2]. 이는 제시되는 중재법들(운동, 고관절 보호대 사용 등 총 7가지, 본문에서 자세히 설명)이 넘어짐 및 그 결과로 나타나는 인체손상에 대한 불완전한 이해에 바탕하기 때문이다. 예를 들어, 넘어짐 및 그 결과로 나타나는 골절을 결정짓는 데 10여 가지가 넘는 생체역학적인 요인의 개별적인 효과는 알려져 있으나, 이 요인들의 어떠한 상호 작용이 골절을 결정하는지에 대한 이해는 부족하다. 본 리뷰에서는 현재까지 밝혀진 노인의 넘어짐과 그 결과로 인해 발생하는 고

관절 고절에 대한 생체역학적인 이해와, 이를 바탕으로 제안된 넘어짐 예방법 및 고관절 골절 예방법에 대해서 고찰해 보았다. 이를 통해, 노인 낙상 문제 해결을 위한 연구의 방향을 제시하려고 한다.

MAIN BODY

1. 골다공증성 골절

골다공증성 골절이란 작은 충격으로도 발생하는 골절로써 골다공증으로 인해 약해진 뼈 강도가 골절을 일으키는 여러 가지 요인 중 한 원인으로 여겨지는 골절을 말하고, 노인에게서 흔하다[3,4]. 대부분 넘어질 때 발생하며, 고관절 골절, 손목관절 골절, 척추 골절, 두개골 골절 등 다양한 형태로 나타나는데 그중에서 고관절 골절이 합병증, 장애율

및 사망률 등의 측면에서 가장 위험하여 반드시 예방해야 하는 인체손상이다[5-7]. 건강한 노인 세 명 중 한 명이 일 년에 한 번씩 심각한 넘어짐을 경험하며, 요양원 등의 시설에 거주하는 모든 노인은 일 년에 한 번씩 위험한 넘어짐을 경험하므로[8,9], 넘어짐 예방을 통한 인체손상예방이 중요하다.

2. 넘어지면 다 골절을 당하는가?

그렇지 않다. 가끔 아파트 고층에서 추락한 아이가 기적적으로 가벼운 찰과상만 입었다는 뉴스를 접하게 되는데, 학계에서도 유사한 사례들이 보고된다[10]. 노인의 경우도 마찬가지이다. 노인의 넘어짐 중 1%~2%만이 골절을 일으키는 위험한 넘어짐이고 대부분은 인체손상 없는 안전한 넘어짐이다[8,9,11,12]. 넘어짐을 통해 큰 충격을 받았음에도 불구하고 골절이 발생하지 않는다는 사실은, 위험한 혹은 안전한 넘어짐을 결정하는 과학적 이유가 존재한다는 것을 의미하며, 노인 낙상 예방을 위해 넘어짐 위험도를 낮추어 넘어지는 빈도를 줄이는 것뿐만 아니라, 만약에 넘어지게 되더라도 골절이 발생하지 않는 안전한 넘어짐이 되도록 유도하는 것도 중요함을 말해 준다.

3. 골다공증이 넘어짐으로 인한 노인 골절의 주된 요인인가?

결론적으로 말하면, 여러 가지 요인 중의 하나에 불과하다. 다시 말해, 노인의 넘어짐으로 인한 골절을 효과적으로 예방하기 위해서는 약물 섭취를 통한 골다공증을 치료하는 것만으로는 부족하다는 이야기이다.

넘어짐으로 인한 고관절 골절의 빈도는 나이가 들에 따라 기하급수적으로 증가하는데, 연구자들은 주된 이유로 다음을 꼽는다. 첫째, 노화로 인한 골밀도 감소로 인해 뼈 자체의 강도가 떨어진다[13]. 둘째, 노화와 함께 넘어짐의 빈도가 증가한다. 95% 이상의 고관절 골절은 넘

어짐으로 인해 발생함으로, 넘어짐의 빈도가 빈번해진다는 의미는 고관절 골절의 위험도가 증가한다는 의미이다[9,14-16]. 셋째, 노화와 함께 넘어짐으로 인한 충격의 강도가 증가한다. 노인의 경우 젊은 사람과 비교해 볼 때, 넘어질 때 흔히 일어나는 여러 가지 보호 반응이 현저히 줄어든다. 예를 들면, 땅에 손을 짚음으로써 충격을 완화하는 행동이 줄어들고, 있다 하더라도 저하된 민첩성과 근력 때문에 효과적으로 충격을 완화할 수 없으며, 균형 능력과 유연성이 나이가 들에 따라 현저히 줄어든다[17]. 넷째, 연부조직의 충격 흡수량이 감소한다. 뼈를 감싸고 있는 피부 및 근육층은 낙상 시 뼈에 전달되는 충격력을 흡수하는 역할을 하게 되는데, 연부조직의 충격 흡수량은 나이가 들에 따라 감소하여, 똑같은 충격을 받았을 때, 더 많은 충격이 뼈에 전달되어 골절 확률이 높아지게 된다[18,19].

여기서 흥미로운 점은, 상기의 네 가지 주된 이유 중 첫 번째 이유인 골다공증보다 넘어짐 기전과 관련 있는 두 번째, 세 번째, 그리고 네 번째 원인들이 노인의 넘어짐으로 인한 고관절 골절의 예방에 크게 관여한다는 사실이다. 예를 들어, 골밀도가 1 표준편차만큼 감소할 때마다 넘어짐으로 인한 고관절 골절의 위험도는 2배 혹은 3배 증가하지만, 넘어질 때 대퇴골 대전자(greater trochanter)를 바닥에 부딪히는 경우는 아닌 경우보다 30배가 증가하며, 옆으로 넘어지는 경우는 앞이나 뒤로 넘어지는 경우보다 6배나 증가한다. 또한, 하지 근육이 약할 경우 5배나 증가하고, 손이나 무릎을 부딪히는 경우에는 3배나 감소하며, 상지 근력이 약할 경우는 고관절 골절의 위험도가 2배나 증가한다[20-22].

4. 고관절 골절에 영향을 미치는 다양한 요인

서기, 걷기 등의 일상생활 동작을 하는 동안, 사람 몸이 지니고 있는

Figure 1. Factors affecting the risk of hip fracture during a fall. More than ten biomechanical factors are known to determine the fall-related hip fracture risk.

위치에너지는 500~700줄(joule)이다. 균형을 잃고 넘어지기 시작하여 엉덩이에 충격이 가해지는 과정에서 이 모든 에너지는 인체의 여러 부위를 통해 흡수되어야 하는데, 이 과정에서 대퇴골이 5.5줄(joule) 이상의 에너지를 흡수하게 되면 고관절 골절이 발생한다[23]. 대퇴골 골절을 일으키는데 필요한 충격에너지의 크기가 가용한 위치에너지의 크기에 비해 상당히 작음에도 불구하고, 백 번의 넘어짐 중 한두 번의 넘어짐만이 고관절 골절을 일으킨다는 사실은 매우 흥미로우며, 많은 넘어짐 중 골절을 일으키는 위험한 넘어짐을 결정하는 이유가 있다는 존재한다는 것을 다시 한번 말해 준다.

넘어질 때 발생하는 고관절 골절의 위험도는 충격힘에 비례하고 대퇴골 강도에 반비례한다. 또한 충격힘이 대퇴골의 강도보다 클 때 골절이 일어나게 된다[24]. 따라서, 낙상 간에 충격힘을 줄이거나 혹은 대퇴골의 강도를 증가시켜 충격힘이 대퇴골 강도보다 작아지게 되면 골절은 일어나지 않게 된다(Figure 1). 높은 곳에서 추락했음에도 불구하고 골절상 없이 찰과상만 입게 되었다는 일상 및 학계의 보고들은 이와 같은 맥락에서 과학적으로 이해가 가능하게 된다.

그렇다면, 떨어지는 동안 충격힘 및 대퇴골 강도를 변화시켜 골절을 예방할 수 있을까? 가능한 일이다. 현재까지 알려진 충격힘 및 대퇴골

강도에 영향을 미치는 대부분의 요인들이 조절 가능한 변수들이기 때문이다. 충격힘을 결정하는 요인으로는 충격속도(v), 낙상자 질량(m), 그리고 낙상자 몸의 강성(k)이 포함되고, 낙상자 몸의 강성에 영향을 주는 요인으로는 근육 당김 힘, 충격 시 무릎의 위치, 골반 충격 방향, 그리고 넘어지는 방향이 포함된다. 뿐만 아니라, 대퇴골을 감싸고 있는 연부 조직의 충격 흡수량 및 체질량 지수 등도 충격힘에 영향을 미치게 된다(Figure 1) [18,19,25-31]. 대퇴골 강도를 결정하는 요인으로는 나이, 대퇴골 모양, 골밀도, 충격방향 그리고 충격속도를 포함한다[13,24,32-34]. 이런 다양한 요인들의 개별적인 효과는 보고되어 있으나, 요인들 간의 상관관계 및 인과관계, 그리고 어떠한 요인들의 상호 복합적인 작용이 골절을 결정짓는지에 대한 정보는 확인되지 않고 있다.

상기 언급된 대부분의 요인들은 낙상자의 넘어지는 방식에 영향을 받고 있고, 넘어지는 방식은 낙상자의 보행패턴, 자세, 통증 여부, 습관, 근력, 균형능력, 그리고 다양한 일상생활 동작에 따라 영향을 받는다는 것을 가정해 보면, 노인 낙상 문제 해결을 위한 연구의 방향성을 정립할 수 있게 된다(Figure 2). 예를 들어 무릎 통증이 있는 팔자걸음의 보행 패턴을 가진 사람의 넘어짐에는 특유의 무릎위치 및 골반 충격방향이 있을 것이고, 우세 손 및 우세 발이 모두 오른쪽인 사람의 경

Figure 2. Relationship between falls and injuries explained with various associated factors. A few of bad falls result in injuries, and different factors are involved in the injury mechanism which poorly understood. Particularly, combining effects, and correlation and causation among the factors are poorly understood.

우, 앞으로 넘어지기 시작했더라도 오른쪽 엉덩이로 충격을 받기 위해 몸을 왼쪽으로 회전시키면서 낙하하려는 경향이 있을 것이다. Figure 2에서 제시된 여러 가지 요인들의 상관관계 및 인과관계를 연구를 통해 하나씩 확인해 보면, 노인 낙상에 대한 보다 깊은 이해가 도출될 것이고, 이를 바탕으로 제안되는 중재법은 노인 낙상 문제를 해결하는 데 큰 도움이 될 것이다.

5. 넘어짐 예방법 및 골절 예방법

앞에서 언급되었듯이, 노인 낙상 예방은 균형능력을 증가시켜 넘어짐 빈도를 줄이거나, 혹은 넘어지더라도 골절 위험도가 낮은 안전한 넘어짐의 교육을 통해 해결될 수 있다. Figure 3은 문헌에서 효과 있음이 증명된 중재법들을 문헌 수에 따라 비중을 두어 표시한 표이다. 넘어짐 예방 중재는 총 85개의 문헌, 그리고 골절 예방 중재는 총 42개의 문헌에 대한 비율로 표시하였는데[35-57], 확인되는 것은, 우리가 흔히 알고 있는 운동은 주로 넘어짐 예방에 주로 많이 사용되는 반면(88.2%), 골절예방에는 큰 비중을 차지하지 못한다(2.4%) [35]. 오히려 고관절 보호대의 사용 및 안전하게 넘어지는 방법의 교육 등이 골절예방에는 도움이 된다(76.2%) [35]. 뿐만 아니라, 비타민 D의 복용은 넘어짐 예방(7.1%) 및 골절 예방(9.5%)에도 모두 사용되고, 그 효과가 보고되고 있다[35]. 문헌에서 제시하는 넘어짐 예방법으로는 운동, 시력교정, 비타민 D 섭취, 거주환경 개선 등이 있고, 골절 예방법으로는 고관절 보호대 사용, 충격흡수 매트 사용, 안전하게 넘어지는 방법 사용, 비타민 D 섭취, 운동 등이 있다.

6. 넘어짐 위험도 예측 및 골절 위험도 예측

상기 예방법들의 효과를 극대화하기 위해서는, 대상자의 넘어짐 위험도와 골절 위험도를 예측하여 고·중·저 위험군으로 나누어 분류하고, 대상자에게 필요한 맞춤형 중재를 실행하는 것이 중요하다. 사람의 넘어짐 위험도 예측을 위한 방법 및 임상 평가 도구는 다양하고 이를 통해 위험도를 계산해내는 제품까지 시장에 나와 임상에서 사용되고 있는 반면, 넘어졌을 때 발생하는 골절 위험도를 예측하는 방법 및 도구는 아직 개발되어 있지 않은 상황이다. 현재까지 밝혀진 생체역학

적인 이해를 바탕으로 골절 위험도를 예측하고, 이를 바탕으로 개인별 맞춤형 중재법을 제안해 주는 모델이 연구 개발된다면, 노인 낙상 문제 해결에 큰 도움이 될 것이다. 예를 들면, 대상자의 인체 정보(키, 몸무게, 골밀도, 연부조직의 충격 흡수량 등)를 바탕으로 넘어질 때 골절 확률을 예측해 주고, 무엇 때문에 위험도가 높은지 알려줄 수 있는 모델 및 기기의 사용은 고위험군이 모여 있는 시설 내 노인뿐 아니라, 상대적으로 건강한 지역사회 노인들에게까지도 본인의 건강을 모니터링 하는데 큰 도움이 될 것이다.

DISCUSSION

노인의 넘어짐, 그리고 그 결과로써 일어나는 고관절 골절에 대한 생체역학적 이해를 바탕으로 현재까지 제시된 예방 중재법을 고찰하고, 이를 바탕으로 앞으로의 노인 낙상 문제 해결을 위한 연구 방향을 제시하기 위해 본 리뷰가 쓰였으며 다음과 같은 내용을 확인하였다. 첫째, 현재까지 노인이 왜 넘어지고 골절을 당하는지에 대한 완전한 이해는 되어 있지 않다. 특히, 낙상에 영향을 미치는 개별적인 여러 가지 요인들이 보고되어 있으나, 그 요인들의 상관관계 및 인과관계, 그리고 어떠한 요인들의 상호 복합작용이 골절을 결정짓는지에 대한 정보는 많이 제한되어 있다. 둘째, 골절 위험도는 골다공증(골밀도)보다 넘어짐의 방식에 더 영향을 받고, 넘어짐의 방식은 일상생활 동작 간에 발생하는 다양한 움직임의 특성에 영향을 받는데, 이것에 관한 정보는 많이 부족하다. 셋째, 예방 중재의 효과를 극대화하기 위해서는 대상자를 고·중·저 위험군으로 분류하는 것이 중요한데, 넘어짐 위험도를 평가하는 방법은 많이 제시되어 있는 반면, 골절 위험도를 평가하는 방법은 많이 제한적이다. 상기 내용은 날로 증가하는 노인 낙상 문제 해결을 위한 연구의 방향을 제시한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the “Brain Korea 21 FOUR Project”, the Korean Research Foundation for Department of

Figure 3. Fall and injury prevention interventions. Among 85 and 43 articles suggested effective fall and injury prevention interventions, respectively, exercise and use of hip protector are the most common, respectively.

Physical Therapy in the Graduate School of Yonsei University.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: WJC. Formal analysis: WJC, KL, SK, SL. Visualization: WJC. Writing - original draft: WJC. Writing - review & editing: WJC, KL, SK, SL.

ORCID

Kitaek Lim, <https://orcid.org/0000-0001-5475-3196>

Seung-su Kim, <https://orcid.org/0000-0002-8735-3794>

Se-young Lee, <https://orcid.org/0000-0001-6744-0025>

REFERENCES

1. Burns E, Kakara R. Deaths from falls among persons aged ≥ 65 years - United States, 2007-2016. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2018;67(18):509-14.
2. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Important facts about falls. CDC [Internet]. Atlanta: 2017 Feb [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.cdc.gov/homeandcommunity/safety/falls/adultfalls.html>.
3. Sözen T, Özışık L, Başaran NÇ. An overview and management of osteoporosis. *Eur J Rheumatol* 2017;4(1):46-56.
4. Brown C. Osteoporosis: staying strong. *Nature* 2017; 550(7674):S15-7.
5. Guzon-Illescas O, Perez Fernandez E, Crespi Villarias N, Quirós Donate FJ, Peña M, Alonso-Blas C, et al. Mortality after osteoporotic hip fracture: incidence, trends, and associated factors. *J Orthop Surg Res* 2019;14(1):203.
6. Empana JP, Dargent-Molina P, Bréart G, EPIDOS Group. Effect of hip fracture on mortality in elderly women: the EPIDOS prospective study. *J Am Geriatr Soc* 2004;52(5):685-90.
7. Wolinsky FD, Fitzgerald JF, Stump TE. The effect of hip fracture on mortality, hospitalization, and functional status: a prospective study. *Am J Public Health* 1997;87(3):398-403.
8. Rubenstein LZ, Josephson KR, Robbins AS. Falls in the nursing home. *Ann Intern Med* 1994;121(6):442-51.
9. Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF. Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *N Engl J Med* 1988;319(26):1701-7.
10. De Haven H. Mechanical analysis of survival in falls from heights of fifty to one hundred and fifty feet. 1942. *Inj Prev* 2000;6(1):62-8.
11. Sattin RW. Falls among older persons: a public health perspective. *Annu Rev Public Health* 1992;13:489-508.
12. Lim K, Lee J, Park H, Park S, Choi WJ. Understanding and prevention of fall-related injuries in older adults in South Korea: a systematic review. *Phys Ther Korea* 2019;26(2):34-48.
13. Carter DR, Hayes WC. The compressive behavior of bone as a two-phase porous structure. *J Bone Joint Surg Am* 1977;59(7):954-62.
14. Grisso JA, Schwarz DF, Wishner AR, Weene B, Holmes JH, Sutton RL. Injuries in an elderly inner-city population. *J Am Geriatr Soc* 1990;38(12):1326-31.
15. Downton JH, Andrews K. Prevalence, characteristics and factors associated with falls among the elderly living at home. *Aging (Milano)* 1991;3(3):219-28.
16. Stalenhoef PA, Diederiks JP, Knottnerus JA, Kester AD, Crebolder HF. A risk model for the prediction of recurrent falls in community-dwelling elderly: a prospective cohort study. *J Clin Epidemiol* 2002;55(11):1088-94.
17. Choi WJ, Wakeling JM, Robinovitch SN. Kinematic analysis of video-captured falls experienced by older adults in long-term care. *J Biomech* 2015;48(6):911-20.
18. Choi WJ, Russell CM, Tsai CM, Arzanpour S, Robinovitch SN. Age-related changes in dynamic compressive properties of trochanteric soft tissues over the hip. *J Biomech* 2015;48(4):695-700.
19. Lim KT, Choi WJ. Soft tissue stiffness over the hip increases with age and its implication in hip fracture risk in older adults. *J Biomech* 2019;93:28-33.
20. Greenspan SL, Myers ER, Maitland LA, Resnick NM, Hayes WC. Fall severity and bone mineral density as risk factors for hip fracture in ambulatory elderly. *JAMA* 1994;271(2):128-33.
21. Schwartz AV, Kelsey JL, Sidney S, Grisso JA. Characteristics of falls and risk of hip fracture in elderly men. *Osteoporos Int* 1998;8(3):240-6.
22. Nevitt MC, Cummings SR. Type of fall and risk of hip and wrist fractures: the study of osteoporotic fractures. The study of Osteoporotic Fractures Research Group. *J Am Geriatr Soc* 1993;41(11):1226-34.

23. Courtney AC, Wachtel EF, Myers ER, Hayes WC. Age-related reductions in the strength of the femur tested in a fall-loading configuration. *J Bone Joint Surg Am* 1995;77(3):387-95.
24. Bouxsein ML, Szulc P, Munoz F, Thrall E, Sornay-Rendu E, Delmas PD. Contribution of trochanteric soft tissues to fall force estimates, the factor of risk, and prediction of hip fracture risk. *J Bone Miner Res* 2007;22(6):825-31.
25. Choi WJ, Crompton PA, Robinovitch SN. Effects of hip abductor muscle forces and knee boundary conditions on femoral neck stresses during simulated falls. *Osteoporos Int* 2015;26(1):291-301.
26. Choi WJ, Hoffer JA, Robinovitch SN. The effect of positioning on the biomechanical performance of soft shell hip protectors. *J Biomech* 2010;43(5):818-25.
27. Choi WJ, Hoffer JA, Robinovitch SN. Effect of hip protectors, falling angle and body mass index on pressure distribution over the hip during simulated falls. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2010;25(1):63-9.
28. Lim KT, Choi WJ. Effect of fall characteristics on the severity of hip impact during a fall on the ground from standing height. *Osteoporos Int* 2020;31(9):1713-9.
29. Lim KT, Choi WJ. The effect of the hip impact configuration on the energy absorption provided by the femoral soft tissue during sideways falls. *J Biomech* 2021;117:110254.
30. Laing AC, Robinovitch SN. The force attenuation provided by hip protectors depends on impact velocity, pelvic size, and soft tissue stiffness. *J Biomech Eng* 2008;130(6):061005.
31. Choi WJ, Robinovitch SN. Effect of pelvis impact angle on stresses at the femoral neck during falls. *J Biomech* 2018;74:41-9.
32. Cheng XG, Lowet G, Boonen S, Nicholson PH, Brys P, Nijs J, et al. Assessment of the strength of proximal femur in vitro: relationship to femoral bone mineral density and femoral geometry. *Bone* 1997;20(3):213-8.
33. Manske SL, Liu-Ambrose T, de Bakker PM, Liu D, Kontulainen S, Guy P, et al. Femoral neck cortical geometry measured with magnetic resonance imaging is associated with proximal femur strength. *Osteoporos Int* 2006;17(10):1539-45.
34. Pulkkinen P, Jämsä T, Lochmüller EM, Kuhn V, Nieminen MT, Eckstein F. Experimental hip fracture load can be predicted from plain radiography by combined analysis of trabecular bone structure and bone geometry. *Osteoporos Int* 2008;19(4):547-58.
35. Lee S, Kim S, Lim K, Choi WJ. The literature review on the effectiveness of fall-related hip fracture prevention programs. *Phys Ther Korea* 2021;28(1):1-12.
36. Stevens JA, Burns E. A CDC compendium of effective fall interventions: what works for community-dwelling older adults. 3rd ed. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention; 2015.
37. Alsubiheen A, Petrofsky J, Daher N, Lohman E, Balbas E. Effect of Tai chi exercise combined with mental imagery theory in improving balance in a diabetic and elderly population. *Med Sci Monit* 2015;21:3054-61.
38. Bird ML, Fell J. Positive long-term effects of Pilates exercise on the aged-related decline in balance and strength in older, community-dwelling men and women. *J Aging Phys Act* 2014;22(3):342-7.
39. Chen MS, Lin TC, Jiang BC. Aerobic and resistance exercise training program intervention for enhancing gait function in elderly and chronically ill Taiwanese patients. *Public Health* 2015;129(8):1114-24.
40. Chen PY, Wei SH, Hsieh WL, Cheen JR, Chen LK, Kao CL. Lower limb power rehabilitation (LLPR) using interactive video game for improvement of balance function in older people. *Arch Gerontol Geriatr* 2012;55(3):677-82.
41. Daniel K. Wii-hab for pre-frail older adults. *Rehabil Nurs* 2012;37(4):195-201.
42. Donath L, Faude O, Bridenbaugh SA, Roth R, Soltermann M, Kressig RW, et al. Transfer effects of fall training on balance performance and spatiotemporal gait parameters in healthy community-dwelling older adults: a pilot study. *J Aging Phys Act* 2014;22(3):324-33.
43. Franco JR, Jacobs K, Inzerillo C, Kluzik J. The effect of the Nintendo Wii Fit and exercise in improving balance and quality of life in community dwelling elders. *Technol Health Care* 2012;20(2):95-115.
44. Hess JA, Woollacott M. Effect of high-intensity strength-training on functional measures of balance ability in balance-impaired older adults. *J Manipulative Physiol Ther* 2005;28(8):582-90.
45. Irez GB, Ozdemir RA, Evin R, Irez SG, Korkusuz F. Integrating pilates exercise into an exercise program for 65+ year-old women to reduce falls. *J Sports Sci Med* 2011;10(1):105-11.
46. Lee K, Lee S, Song C. Whole-body vibration training improves balance, muscle strength and glycosylated hemoglobin in elderly patients with diabetic neuropathy. *Tohoku J Exp Med* 2013;231(4):305-14.

47. Liang CC, Change QX, Hung YC, Chen CC, Lin CH, Wei YC, et al. Effects of a community care station program with structured exercise intervention on physical performance and balance in community-dwelling older adults: a prospective 2-year observational study. *J Aging Phys Act* 2017;25(4):596-603.
48. Ma AWW, Wang HK, Chen DR, Chen YM, Chak YTC, Chan JWY, et al. Chinese martial art training failed to improve balance or inhibit falls in older adults. *Percept Mot Skills* 2019;126(3):389-409.
49. Ozaki K, Kondo I, Hirano S, Kagaya H, Saitoh E, Osawa A, et al. Training with a balance exercise assist robot is more effective than conventional training for frail older adults. *Geriatr Gerontol Int* 2017;17(11):1982-90.
50. Patti A, Bianco A, Karsten B, Montalto MA, Battaglia G, Bellafiore M, et al. The effects of physical training without equipment on pain perception and balance in the elderly: a randomized controlled trial. *Work* 2017;57(1):23-30.
51. Ribeiro Ados S, Pereira JS. Balance improvement and reduction of likelihood of falls in older women after Cawthorne and Cooksey exercises. *Braz J Otorhinolaryngol* 2005;71(1):38-46.
52. Sohn J, Park SH, Kim S. Effects of DanceSport on walking balance and standing balance among the elderly. *Technol Health Care* 2018;26(S1):481-90.
53. Vrantidis F, Hill KD, Moore K, Webb R, Hunt S, Dowson L. Getting grounded gracefully: effectiveness and acceptability of Feldenkrais in improving balance. *J Aging Phys Act* 2009;17(1):57-76.
54. Maggi P, de Almeida Mello J, Delye S, Cès S, Macq J, Gosset C, et al. Fall determinants and home modifications by occupational therapists to prevent falls: facteurs déterminants des chutes et modifications du domicile effectuées par les ergothérapeutes pour prévenir les chutes. *Can J Occup Ther* 2018;85(1):79-87.
55. Ellison AC, Campbell AJ, Robertson MC, Sanderson GF. Prismatic displacement effect of progressive multifocal glasses on reaction time and accuracy in elderly people. *Clin Ophthalmol* 2014;8:891-902.
56. Hall CD, Barnes CS, Gutherie AH, Lynch MG. Visual function and mobility after multifocal versus monofocal intraocular lens implantation. *Clin Exp Optom* 2021. [Epub]. <https://doi.org/10.1080/08164622.2021.1896337>.
57. Haran MJ, Cameron ID, Ivers RQ, Simpson JM, Lee BB, Tanzer M, et al. Effect on falls of providing single lens distance vision glasses to multifocal glasses wearers: VISIBLE randomised controlled trial. *BMJ* 2010;340:c2265.