

# The Correlation of the Four Square Step Test and Fall Index in Healthy Adults

Su-Yeong Eom<sup>a</sup>, Jung-Eun Choi<sup>b</sup>, Dae-Sung Park<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>The Graduate School of Konyang University, Daejeon, Republic of Korea

<sup>b</sup>Department of Physical Therapy, Konyang University, Daejeon, Republic of Korea

**Objective:** As individuals age, their ability to balance decreases, heightening the risk of falls. Falls among the elderly can lead to fractures and injuries, emphasizing the need to identify factors predicting falls for effective prevention strategies. This study aims to ascertain the correlation between the fall index using the Tetrax and three other balance tests: one-leg standing test (dominant, non-dominant), dynamic balance test, and the Four Square Step Test(FSST) in healthy adults.

**Design:** Cross-sectional study

**Methods:** The study included thirty healthy adults from Daejeon, South Korea, with normal joint ranges of motion in the hip, knee, and ankle joints. Participants underwent assessments for the fall index, both dominant and non-dominant one-leg standing tests, dynamic balance test, and FSST. Correlation analyses were performed to determine the relationships among four balance measures.

**Results:** Thirty participants had an average age of 19.34 years, height of 166.97 cm, and weight of 60.81 kg. Measurements included the fall index, dominant and non-dominant one-leg standing tests, dynamic balance, and FSST completion times. The mean fall index was  $31.90 \pm 23.32$  score. Correlation analysis identified a significant relationship between the fall index and FSST ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions:** This study confirmed that the Four Square Step Test is a useful tool for identifying fall risk among healthy adults.

**Key Words:** Posture balance, Accidental falls, Core stability

## 서론

낙상은 노인들의 삶의 저하가 나타나게 되는 심각한 사고 중 하나이다. 65 세 이상의 노인 중 적어도 일년 동안 1회 이상의 낙상을 경험하는 노인이 전체의 30% 정도를 차지하며[1][2], 낙상 노인 중 60%는 병원에 입원하는 것으로 나타났다[3]. 낙상은 일상생활 중에서 일어나게 되며 집안에서도 일어난다[4]. 낙상은 환경이나 심리적, 신체적인 요인 등 걷는 도중, 혹은 내리막 길에서 내려오는 도중이나 의자에 앉는 도중이나 미끄러운 지면을 걸을 때 등 다양한 환경에서 발생하게 된다[5][6].

낙상에 관한 연구는 일반적으로 노인에게 집중되어 있지만, 낙상은 노인 뿐만 아니라 다양한 연령층에서 빈

번하게 일어날 수 있는 사고다. 20대의 젊은 성인 157명을 대상으로 설문조사 했을 때 응답자의 48% 가 낙상을 경험했다고 답하였으며, 이중에서 55명은 하루에 두 번 이상의 낙상은 경험이 있다고 답하였다[7]. 이러한 낙상은 보행중이나 스포츠활동에서 나타난다고 하였다. 통계청에 따르면 2006~2021년 사이에 낙상으로 인해 입원했다가 퇴원한 사람들은 45세 미만의 젊은 성인에서도 약 20%를 차지하는 것으로 나타났다[8]. 45세 이하의 젊은 연령에서의 낙상은 65세 이상에서 보다 경미한 부상을 보인다[9]. 25~45세 사이의 성인들은 낙상으로 인해 주로 손상받는 부위는 손목, 무릎, 발목으로 나타났고, 나이가 많아질수록 머리와 같은 곳에 치명적일 수 있는 부상이 나타난다[10]. 낙상에 의한 외상성 뇌손상은 전체 원인의 28%에 달하며, 이중에서 70%는 어린이,

Received: Nov 27, 2023 Revised: Dec 20, 2023 Accepted: Dec 21, 2023

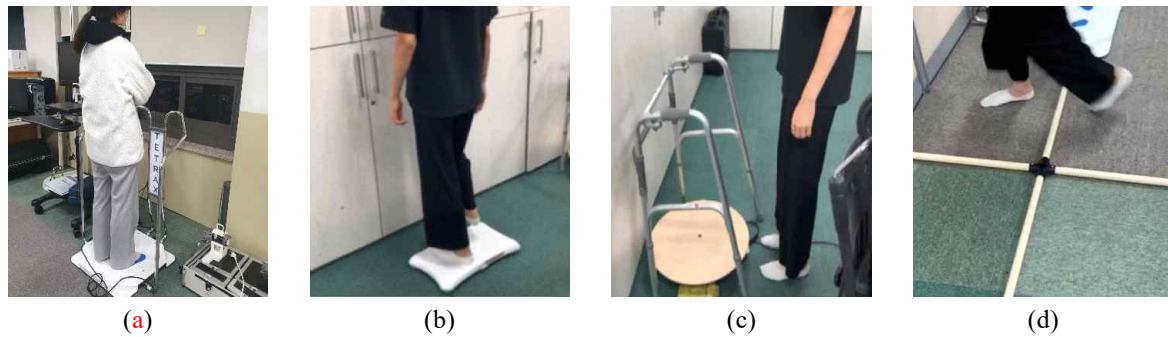
Corresponding author: Park Dae-Sung (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4258-0878>)

Department of Physical Therapy, Konyang University 158, Gwanjeodong-ro, Seo-gu, Daejeon, Republic of KOREA

Tel: +82-42-600-6419 Mobile:\*\*\* - \*\*\*\* - \*\*\*\* E-mail: daeric@konyang.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

Copyright © 2023 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science



**Figure 1.** Experimental set-up  
(a: Tetrax, b: One Leg Standing, c: unstable balance, d: Four Square Step Test)

청소년, 젊은 성인이 차지하는 것으로 나타났다[11].

선행 연구에서 낙상을 평가하는 방법으로 Chun-Ju Chang 등[12]은 한 발 서기(one leg standing)가 노인들의 낙상 경험과 상관관계가 있다고 하였다. Kimberly와 Elena[13]는 노인을 대상으로 Four Square Step Test(FSST)를 측정 후 12개월 뒤 노인들의 낙상과 비교했을 때, FSST는 낙상 경험이 있는 노인들과 낙상경험이 없는 노인들을 정확하게 구분할 수 있는 예측 타당도가 있다고 하였다. Neuls 등[14]은 Berg Balance Scale(BBS)만을 사용하여 낙상을 예측하는 것은 유용하지 않기 때문에 환자들의 다른 기능적 상태를 고려할 수 있는 검사들이 필요하다고 하였다. 노인의 낙상 원인으로는 노화로 인한 시각의 퇴화, 자세이동이나 균형감각의 상실, 치매나 뇌졸중, 심장병 등의 질병으로 인한 것들이 있다[10].

낙상에 관한 대부분의 연구는 노인에게 초점이 맞춰져 있어서 노화가 일어나기 전의 젊은 성인의 낙상에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 건강한 성인 30명을 대상으로 균형에 초점을 맞추어 낙상과 관련이 있는 평가도구들과 Tetrax를 이용한 낙상지수를 비교하여 낙상과의 연관성을 알아보고자 한다.

## 연구방법

### 연구 대상자

본 연구는 대전광역시에서 거주하는 20대 성인 30명(남 12명, 여 18명)을 대상으로 진행하였다. 선정기준은 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 관절가동범위가 모두 정상인 자, 연구의 목적과 방법에 대해 설명한 후 연구에 대하여 이해하고, 연구동의서에 동의한 자를 대상으로 하였다. 제외기준으로는 다리에 골절경험이 있거나 정형 외과적 수술을 한 경험이 있는 자, 발목에 두 번 이상의 발목 염좌 경험이 있는 자, 실험 전날 소

주 반 병(맥주 500ml 이상) 이상의 알코올을 마신 자, 균형에 영향을 줄 수 있는 약물을 복용하고 있는 자, 실험 당일 감기약이나 항생제 등의 약물을 복용한 자, 어지러움 증이 있는 자, 임신부로 하였다. 본 연구의 모든 절차는 건양대학교 기관생명윤리위원회의 승인을 받고 실시하였다(KYU-2019-328-01)

### 측정방법

#### 낙상지수검사

낙상지수검사는 Tetrax(sunlight medical LTD, Israel) 균형검사 장비를 사용하였다. 본 검사장비는 네 개의 센서로 구성되어 있고, 좌우 발아래에 각각 두 개씩 위치한다. 힘판과 연결된 노트북에서 소프트웨어를 이용하여 낙상지수를 기록하였다. 측정조건은 판 위에 두 발을 올려놓고 선 상태에서 다음의 8가지 조건에서 각 40 초 동안 균형능력을 기록하였다. (1) 눈뜨고 서있기, (2) 눈감고 서있기, (3) 폼 위에서 눈뜨고 서있기, (4) 폼 위에서 눈감고 서있기, (5) 고개를 오른쪽으로 돌리고 눈감고 서있기, (6) 고개를 왼쪽으로 돌리고 눈감고 서있기, (7) 고개를 뒤로 젖히고 눈감고 서있기, (8) 고개를 아래로 숙이고 눈감고 서있기. 총 8가지의 검사를 통해 장비에서는 낙상지수(stability index)가 계산된다. 점수는 0 점에서 100점 까지의 범위로 이루어지며, 0~35점은 낮은 낙상위험, 36~57점은 중간 낙상위험, 58~100점은 높은 낙상위험으로 구분된다(figure 1a). Tetrax 장비를 이용한 검사는 높은 검사-재검사 신뢰도(ICC=0.858, 0.850)를 보인다[15].

#### 한발서기검사

한발서기검사는 Wii Balance Board(WBB) (Nintendo, Kyoto, Japan)를 이용하였으며, 블루투스를 통해 노트북과 연결된 소프트웨어(Balancia 2.5, Mintosys Inc,

KOR)를 이용하여 기록하였다. 측정방법은 두 발로 WBB위에 올라선 상태에서 두 팔은 몸통 옆에 나란히 배치하고, 안정상태라고 생각되면 한쪽 다리의 무릎을 90°로 굽히고 준비가 되면 눈을 감으라고 지시하였고, 시작이라는 지시와 함께 마우스로 기록 버튼을 눌러 신체압력중심점(Center of Pressure)의 이동거리를 측정하였다. 측정은 우성측 발로 선상태와 비우성측 발로 선 상태에서 각각 3회 측정하여 평균값을 사용하였다(figure 1b). Balancia 2.5 소프트웨어를 사용한 선행연구에서 신체압력중심점의 이동거리 변수는 높은 검사자 내 신뢰도(ICC=0.92~0.70)와 검사자간 신뢰도(ICC=0.89~0.79)를 보였다[16].

**동적균형검사**

동적균형검사는 에어쿠션 균형측정장비(Sensbalance Therapy Cushion, Sensamove LTD, Netherland) 장비를 통해 검사를 하였다. 본 장비는 에어쿠션과 센서로 구성되어 있으며, 쿠션 내에 전후좌우 센서가 내장되고, 노트북과 연결되어 균형능력을 측정할 수 있다. 쿠션 위에 지름 50cm의 나무판을 수평상태로 올려놓고 그 위에 두발로 서도록 하였다. 나무판은 최대 15°를 기울어질 수 있다. 센서와 USB케이블을 통해 노트북과 연결하고, 노트북에서 소프트웨어(Sensbalance, Sensamove LTD, Netherland)를 통해 측정하였다. 두 손은 가슴위에 올려놓고 30초 동안 눈을 뜬 상태에서 균형을 유지하도록 하였다. 총 3회 측정하여 평균을 사용하였다(figure 1c). Sensbalance 장비는 높은 검사-재검사 신뢰도(ICC=0.804~0.915)를 보였다[17].

**Four Square Step Test**

Four Square Step Test(FSST) 검사는 네 개의 막대(길이 90cm, 지름 1cm)를 바닥에 십자모양으로 놓고 위쪽 좌측에서부터 시계방향으로 1, 2, 3, 4의 네 개의 구역으로 분류한다. 대상자는 2번 구역을 보면서 1번구역에 두발로 모두 놓고 서게 되며, 시작이라고 검사자가 이야기하면 가능한 한 빨리 다음 구역으로 발을 하나씩 옮겨서 이동하게 된다. 이동 순서는 시계방향으로 1번 구역에서부터 2, 3, 4, 1 구역으로 움직이고, 그 후에 시계반대방향으로 4, 3, 2, 1 구역으로 이동한다. 이때 첫 발을 뗄 때 시작하고 마지막 발이 1번 구역에 닿을 때까지의 총 소요된 시간을 초시계를 이용하여 측정한다. 검사과정에서 막대를 건드리거나 균형을 잃거나 두 발을 해당 구역에 놓지 못하거나, 도움이 필요할 때는 실패로 간주하고 다시 시도한다. 검사자는 대상자에게 가능한 한 빨리 움직이되, 두 발이 각 구역에 이동해야 한다고 설명하고, 대상자에게 방법을 시범을 통해 보여주

었다. 총 세 번 검사하고 평균값을 데이터로 사용하였다(Figure 1d). FSST는 검사자간 신뢰도에서 우수한 신뢰도(ICC=0.86)를 보였으며 검사자 내 신뢰도에서도 높은 신뢰도(ICC=0.83)을 보였다[18].

**통계처리 방법**

본 연구에서 수집된 자료들은 윈도우용 통계 프로그램(SPSS ver18.0, IBM, USA)을 이용하였다. 모든 변수들은 Shapiro-Wilk를 사용하여 정규성 검정하였고, 정규 분포하였다. 측정변수는 기술통계를 이용하여 평균과 표준편차를 계산하였고, 대상자의 균형 변수들간의 관계는 pearson 상관관계 분석을 하여 상관계수를 분석하였다. 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

**결과**

**일반적 특성**

본 연구에는 총 30명(남성 12명, 여성 18명)의 대상자가 참여하였다. 대상자의 평균연령은 19.34 세였으며, 평균 몸무게와 평균 신장은 각각 60.81 kg, 166.97cm였다. 모든 대상자는 동의서에 서명을 하고, 실험을 완료하였다. 연구과정에서 이상반응이나 중도탈락자, 중도포기자는 없었다(Table 1).

**Table 1.** General Characteristics (n=30)

Variables	mean ± SD
Gender (male/female)	12/18
Age (year)	19.34 ± 1.23
Height (cm)	166.97 ± 7.29
Weight (kg)	60.81 ± 11.61

**균형검사결과**

대상자들의 낙상지수, 우성측 한발서기, 비우성측 한발서기, 동적균형과 FSST의 결과는 <Table 2>와 같았다.

**Table 2.** Balance Scores (n=30)

Variable	mean ± SD
fall index (score)	31.90 ± 23.32
one leg standing (dominant) (cm)	136.09 ± 39.117
one leg standing (non dominant) (cm)	131.52 ± 29.98
dynamic balance (cm)	77.99 ± 7.97
four square step test (s)	6.02 ± 0.80

Table 3. Correlation between Balance Scores

(n = 30)

	one leg standing		dynamic balance	FSST
	dominant	non-dominant		
fall index	0.043	0.129	-0.009	0.476*

FSST: four square step test

\*p &lt; 0.05

### 상관분석결과

낙상지수는 한발서기검사와 동적균형검사와 상관관계를 보이지 않았다. 하지만, 낙상지수는 FSST와는 유의한 양의 상관관계를 보였다( $r=0.476$ ,  $p<0.05$ )(Table 3).

### 논의

본 연구는 건강한 성인을 대상으로 낙상지수와 한발서기검사, 동적균형검사, FSST검사와의 상관관계를 분석하는 것이다. 건강한 성인 30명을 대상으로 Tetrax 장비를 이용하여 8가지 자세에서 각 40초간 측정하여 낙상지수를 측정하였다. 이와 비교하기 위해 WBB 를 이용하여 한발서기 동안 신체압력중심점의 이동거리, 에어쿠션으로 된 센서를 이용하여 눈을 뜨고 두발로 선상 상태에서 30초간 측정된 이동거리, FSST에 대한 수행시간을 측정하였다. 낙상지수와 세 가지의 균형검사 결과에 대하여 상관관계를 분석하였다. 낙상지수는 FSST검사결과와 유의한 상관관계가 있었다( $p<0.05$ ).

Naray Akkaya 등[15]은 연령이 젊은 성인이라고 할 지라도 신체활동이 적은 경우 낙상지수  $47.0 \pm 26.6$ 점으로 중간 정도의 낙상위험이 있다고 하였으며, Muchl-bauer 등[19]은 젊은 성인들을 대상으로 30초간 한발서기검사를 하였을 때  $75.93 \pm 10.83$ cm으로 본 연구에서 나타난 우세측  $131.52 \pm 29.98$ cm, 비우세측  $136.09 \pm 39.117$ cm보다 낮게 나타났다. Nicolas Pinasult와 Nicolas Vuillermel[20]는 한발서기검사는 3회 연속 측정하여 평균값을 사용할 것을 권장하였고, 본 연구에서도 한발서기검사는 3회 측정하여 평균값을 결과로 사용하였다.

Jannette M과 Victoria M[21]은 뇌졸중 환자에서 FSST의 신뢰도는  $ICC=0.94 \sim 0.99$ 로 비교적 높게 나타난다고 하였으며, Susan L 등[22]은 전정장애가 있는 대상자에서 신뢰도는  $ICC=0.86 \sim 0.96$ 를 보인다고 하였다. Duncan Ryan 과 Earhart Gammon[23]은 파킨슨 질환대상자에서 신뢰도는  $ICC=0.99$ 를 보인다고 하였다. FSST 검사는 질환군에서 비교적 높은 신뢰도를 보이는 평가도구이며, 본 연구에서의 결과와 같이 낙상지

수와 유의한 상관관계를 보이는 것으로 나타나 건강한 성인에서도 낙상의 위험성을 확인할 수 있는 유용한 평가도구로 판단된다.

본 연구는 대상자가 20대 성인만을 대상으로 하였고, 대상자의 수가 30명으로 적어 연구의 결과를 일반화하기 어렵다는 제한점이 있다.

### 결론

본 연구의 목적은 20대의 건강한 남녀를 대상으로 낙상지수와 균형능력 변수 간의 상관관계를 알아보는 것이었다. 이를 위해 건강한 20대 남녀 30명을 대상으로 Tetrax 장비를 이용하여 낙상지수를 산출하고, 우세측 발을 이용한 한발서기검사, 비우세측을 이용한 한발서기검사, 불안정판 위에서 두발로 선상 상태에서 동적균형검사, FSST 수행시간간의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 낙상지수는 FSST에서만 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다( $p<0.05$ ).

본 연구를 통해 FSST는 낙상지수와 비교하였을 때, 낙상위험을 확인하기에 유용한 평가도구임을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 연령대별로 대상자의 수를 충분히 모집하여 낙상지수와 FSST 점수와의 결과 간의 상관관계분석과 FSST가 향후 낙상을 예측할 수 있는 검사도구인지에 관해서 추가의 연구가 필요하다고 판단된다.

### References

1. Bianchi F, Redmond SJ, Narayanan MR, Cerutti S, Lovell NH. Barometric Pressure and Triaxial Accelerometry-Based Falls Event Detection. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2010 Dec;18(6): 619-27.
2. Lord SR, Ward JA, Williams P, Anstey KJ. Physiological Factors Associated with Falls in Older

- Community-Dwelling Women. *J Am Geriatr Soc*. 1994 Oct;42(10):1110-7.
3. Cortes C, Vapnik V. Support-Vector Networks. *Machine learning*. 1995;20(3):273-297.
  4. Hyndman D, Ashburn A, Stack E. Fall Events Among People with Stroke Living in the Community: Circumstances of Falls and Characteristics of Fallers. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002 Feb;83(2):165-70.
  5. Rajagopalan R, Litvan I, Jung TP. Fall Prediction and Prevention Systems: Recent Trends, Challenges, and Future Research Directions. *Sensors(Basel)*. 2017 Nov 1;17(11):2509.
  6. Hamm J, Money AG, Atwal A, Paraskevopoulos I. Fall Prevention Intervention Technologies: A Conceptual Framework and Survey of the State of the Art. *J Biomed Inform*. 2016 Feb;59:319-45.
  7. Cho H, Heijnen MJH, Craig BA, Rietdyk S. Falls in Young Adults: The Effect of Sex, Physical Activity, and Prescription Medications. *PLoS One*. 2021 Apr 22;16(4):e0250360.
  8. Korea Disease Control and Prevention Agency. "Discharged Injuries In-Depth Survey." 2021. December 20, 2023. Number of Discharged Patients from Falls and Falls Injuries: by Gender and Age. Available from: [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=177&tblId=DT\\_11760NP32&conn\\_path=I2](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=177&tblId=DT_11760NP32&conn_path=I2).
  9. James MK, Victor MC, Saghri SM, Gentile PA. Characterization of Fall Patients: Does Age Matter? *J Safety Res*. 2018 Feb;64:83-92.
  10. Talbot LA, Musiol RJ, Witham EK, Metter EJ. Falls in Young, Middle-Aged and Older Community Dwelling Adults: Perceived Cause, Environmental Factors and Injury. *BMC Public Health*. 2005 Aug 18;5:86.
  11. Rusnak M. Traumatic brain injury: Giving Voice to a Silent Epidemic. *Nat Rev Neurol*. 2013 Apr;9(4):186-7.
  12. Chang CJ, Chang YS, Yang SW. Using Single Leg Standing Time to Predict the Fall Risk in Elderly. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2013;2013:7456-8.
  13. Cleary K, Skorniyakov E. Predicting Falls in Older Adults Using the Four Square Step Test. *Physiother Theory Pract*. 2017 Oct;33(10):766-771.
  14. Neuls PD, Clark TL, Van Heuklon NC, Proctor JE, Kilker BJ, Bieber ME, Donlan AV, Carr-Jules SA, Neidel WH, Newton RA. Usefulness of the Berg Balance Scale to Predict Falls in the Elderly. *J Geriatr Phys Ther*. 2011 Jan-Mar;34(1):3-10.
  15. Akkaya N, Dođnlar N, Çlik E, Aysşe SE, Akkaya S, Gügö HR, Şahin F. Test-Retest Reliability of Tetrax Static Posturography Sytem in Young Adults with Low Physical Activity Level. *Int J Sports Phys Ther*. 2015 Nov;10(6):893-900.
  16. Park DS, Lee G. Validity and Reliability of Balance Assessment Software Using the Nintendo Wii Balance Board: Usability and Validation. *J Neuroeng Rehabil*. 2014 Jun 10;11:99.
  17. Seung-Hwa Jung Reliability and Validity of Pelvic Mobility Measurement Using a Cushion Sensor in Healthy Adults. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2020;9:74-81
  18. Choi YM, Dobson F, Martin J, Bennell KL, Hinman RS. Interrater and Intrarater Reliability of Common Clinical Standing Balance Tests for People with Hip Osteoarthritis. *Phys Ther*. 2014 May;94(5):696-704.
  19. Muehlbauer T, Roth R, Mueller S, Granacher U. Intra and Intersession Reliability of Balance Measures During One-Leg Standing in Young Adults. *J Strength Cond Res*. 2011 Aug;25(8):2228-34.
  20. Pinsault N, Vuillerme N. Test-Retest Reliability of Centre of Foot Pressure Measures to Assess Postural Control During Unperturbed Stance. *Med Eng Phys*. 2009 Mar;31(2):276-86.
  21. Blennerhassett JM, Jayalath VM. The Four Square Step Test is a Feasible and Valid Clinical Test of Dynamic Standing Balance for Use in Ambulant People Poststroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008 Nov;89(11):2156-61.
  22. Whitney SL, Marchetti GF, Morris LO, Sparto PJ. The Reliability and Validity of the Four Square Step Test for People with Balance Deficits Secondary to a Vestibular Disorder. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007 Jan;88(1):99-104.
  23. Duncan RP, Earhart GM. Four Square Step Test Performance in People with Parkinson Disease. *J Neurol Phys Ther*. 2013 Mar;37(1):2-8.