



The Effect of Central Vision Loss on Balance and Locomotion in Older Adults: A Systematic Review

Maryam Khalaji ¹

1. Department of Sport Coaching, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran E-mail: maryam.khalaji@ut.ac.ir

Received: 11 April 2026; Revised: 25 July 2026; Accepted: 5 August 2026

ABSTRACT

Introduction: Vision plays a crucial role in postural control and movement. This study aims to review the existing knowledge regarding the impact of central vision loss on balance and locomotion patterns in the older adult population.

Methods: In this systematic review, research literature related to visual impairments and motor control was searched. The primary focus was on studies evaluating postural sway, gait strategies, and fall risk in older adults with central vision deficits.

Results: The findings indicate that central vision loss significantly increases postural sway and reduces stability in dynamic situations. Older adults with central vision loss employ cautious gait strategies such as reduced walking speed and increased double-support time to compensate for deficits in detail perception and depth estimation. Furthermore, these individuals face serious challenges in detecting and navigating obstacles, which increases the likelihood of falls and the fear of falling.

Conclusion: Central vision is essential for fine motor adjustments and safe navigation in the environment. Rehabilitation interventions should focus not only on visual enhancement but also on strengthening proprioceptive and vestibular systems, alongside environmental modifications, to maintain mobility independence in older adults.

Keywords: Visual Impairment, Proprioception, Obstacle Avoidance, Postural Sway, older adults

Cite this article: Khalaji, M. (2026). The Effect of Central Vision Loss on balance and locomotion in older adults: A Systematic Review. *Journal of Healthy Ageing and Exercise*, 2(2), 1-23. DOI: [10.22059/jhae.2026.412475.1038](https://doi.org/10.22059/jhae.2026.412475.1038)

Copyright © 2026: Journal of Healthy Ageing and Exercise. This open-access article is available under the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) International License, which allows for the copying and redistribution of the material only for noncommercial purposes, provided that the original work is properly cited.

Publisher: University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Visual information is a fundamental component of postural control and locomotion, particularly in older adults. Central vision loss (CVL), commonly caused by conditions such as age-related macular degeneration, leads to a reduction in high-acuity visual input while peripheral vision remains relatively intact. This visual impairment forces individuals to adopt compensatory strategies during mobility tasks. The present review aims to synthesize evidence regarding the effects of central vision loss on balance, gait, obstacle negotiation, and visually guided locomotion in older adults, with a focus on behavioral and biomechanical adaptations.

Methods

This review was conducted following PRISMA guidelines. A systematic literature search was performed in major scientific databases from inception to February 2026. Studies were included if they investigated older adults (≥ 60 years) with central vision loss or used simulation paradigms of central vision impairment in healthy participants. Eligible studies needed to report outcomes related to balance, gait, obstacle avoidance, visually guided walking, or eye movement behavior during locomotion tasks. Due to methodological heterogeneity, findings were synthesized qualitatively.

Results

The review identified consistent evidence that central vision loss leads to significant changes in visually guided locomotion. Individuals with CVL demonstrated reduced walking speed, increased cautious gait patterns, and greater reliance on peripheral vision during mobility tasks. Studies on obstacle negotiation have shown that individuals with CVL tend to overestimate obstacle height and adopt larger safety margins during stepping, indicating compensatory strategies to reduce the risk of falling.

Footnotes

Funding

This research received no financial support from any organization

Eye movement behavior was also markedly altered. Older adults with CVL exhibited closer fixation patterns, increased dependence on near-field visual information, and reduced look-ahead behavior during walking. Chapman and Hollands (2006) reported that individuals at higher fall risk demonstrated premature gaze transfer, shifting visual attention away from targets before completing stable foot contact, which was associated with increased stepping variability. Similarly, Yamada et al. (2012) showed that individuals with a history of falls or higher fall risk exhibited earlier gaze shifts in dual-task conditions, reflecting less stable visuomotor planning strategies.

In addition, studies investigating simulated central vision loss confirmed similar compensatory behaviors in healthy participants, including increased toe clearance, altered gait kinematics, and reduced visual field utilization efficiency. Interventional studies suggested that training programs and sensory substitution devices may partially improve mobility performance, although outcomes varied depending on task complexity and cognitive load.

Conclusions

Central vision loss significantly alters locomotor behavior by shifting control strategies from proactive to more reactive mechanisms. This is reflected in reduced anticipatory gaze behavior, increased gait conservatism, and modified obstacle avoidance strategies. Both clinical and simulation-based studies consistently indicate that visual degradation leads to increased reliance on peripheral visual input and altered visuomotor coordination. However, the effectiveness of assistive technologies and training interventions remains variable. Future research should focus on standardized methodologies and longitudinal designs to better understand adaptive mechanisms and optimize rehabilitation strategies for individuals with central vision loss.

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest

AI use disclosure

The authors declare that no generative artificial intelligence (AI) tools were used in the preparation, writing, analysis, or revision of this manuscript.

تأثیر کاهش دید مرکزی بر تعادل و جابجایی در سالمندان: یک مرور نظام‌مند

مریم خلجی^۱ ^۱ گروه مربیگری ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: maryam.khalaji@ut.ac.ir

دریافت: ۲۲ فروردین ۱۴۰۵؛ بازنگری: ۳ مرداد ۱۴۰۵؛ پذیرش: ۱۴ مرداد ۱۴۰۵

چکیده

مقدمه: بینایی نقش حیاتی در کنترل وضعیت بدنی و حرکت ایفا می‌کند. این مطالعه با هدف مرور دانش موجود درباره تأثیر کاهش دید مرکزی، ناشی از بیماری‌هایی مانند دژنراسیون ماکولا، بر تعادل و الگوی جابجایی در جمعیت سالمند انجام شده است. نتیجه‌گیری: دید مرکزی برای تنظیمات ظریف حرکتی و پیمایش ایمن در محیط ضروری است. مداخلات توانبخشی باید علاوه بر بهبود بینایی، بر تقویت سیستم‌های حس عمقی و دهلیزی و همچنین اصلاح محیط زندگی تمرکز کنند تا استقلال حرکتی سالمندان حفظ شود.

روش پژوهش: در این مرور نظام‌مند، ادبیات پژوهشی مرتبط با اختلالات بینایی و کنترل حرکتی جستجو شد. تمرکز اصلی بر مطالعاتی بود که نوسانات بدنی، استراتژی‌های گام‌برداری و خطر سقوط را در سالمندان مبتلا به نقص دید مرکزی ارزیابی کرده بودند.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان می‌دهند که کاهش دید مرکزی به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش نوسانات بدنی و کاهش ثبات در وضعیت پویا می‌شود. سالمندان مبتلا به کاهش دید مرکزی برای جبران نقص در تشخیص جزئیات و تخمین عمق از استراتژی‌های حرکت محتاطانه مانند کاهش سرعت راه رفتن و افزایش زمان دواتکایی استفاده می‌کنند. همچنین، این افراد در شناسایی و عبور از موانع دچار چالش جدی هستند که این امر خطر سقوط و ترس از افتادن را افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری: دید مرکزی برای تنظیمات حرکات ظریف و پیمایش ایمن در محیط ضروری است. مداخلات توانبخشی باید علاوه بر بهبود بینایی، بر تقویت سیستم‌های حس عمقی و دهلیزی و همچنین اصلاح محیط زندگی تمرکز کنند تا استقلال حرکتی سالمندان حفظ شود.

کلید واژه‌ها: اختلال بینایی، حس عمقی، عبور از موانع، نوسان قامتی، سالمندان

استناد: خلجی، مریم. (۱۴۰۵). تأثیر کاهش دید مرکزی بر تعادل و جابجایی در سالمندان: یک مرور نظام‌مند. نشریه سالمندی سالم و ورزش، ۲ (۲)، ۱-۲۳.

DOI: 10.22059/jhae.2026.412475.1038

حق چاپ © ۱۴۰۵، نشریه سالمندی سالم و ورزش. این مقاله با دسترسی آزاد تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) منتشر شده است. این مجوز اجازه کپی و بازتوزیع مطالب را تنها برای مقاصد غیرتجاری می‌دهد، به شرطی که به اثر اصلی به درستی استناد شود. ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

درصد سالمندان در جمعیت کل جهان از ۹.۲٪ در سال ۱۹۹۰ به ۱۱.۷٪ در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۲۱/۱ درصد برسد (۱). فشارهای اجتماعی و اقتصادی ناشی از این روند جمعیتی اهمیت سالمندی سالم را برجسته کرده است. یکی از علل اصلی صدمات کشنده و غیرکشنده در سالمندان، زمین‌خوردن است (۲). علاوه بر افزایش هزینه‌های مراقبت‌های پزشکی مرتبط، زمین‌خوردن پیامدهای منفی مستقیم نیز برای خود افراد زمین‌خورده دارد. به‌عنوان مثال، افرادی که زمین می‌خورند اغلب با صدمات جسمی دیگر به بیمارستان منتقل می‌شوند (۳). بسیاری از عوامل از جمله کاهش توانایی‌های جسمانی مانند تعادل، نحوه راه‌رفتن، قدرت عضلانی و کاهش سطح تحرک به‌عنوان پیامدهای فرآیند سالمندی و در نتیجه افزایش احتمال زمین‌خوردن در نظر گرفته می‌شوند (۴).

اختلالات راه‌رفتن و تعادل می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از جمله شرایط پزشکی زمینه‌ای مانند سکت، بیماری‌های عصبی، دیابت، نقص سیستم دهلیزی یا فرآیندهای مرتبط با افزایش سن، مانند کاهش قدرت عضلانی، پاسخ‌های حسی-حرکتی، عملکرد حسی یا ظرفیت بینایی باشند (۵). علاوه بر این، افزایش اضطراب و کاهش منابع شناختی نیز با زمین‌خوردن در سالمندان مرتبط شناخته شده است. برای مثال، سالمندانی که هنگام صحبت کردن توقف می‌کنند، خطر بیشتری برای زمین‌خوردن دارند (۶). انجام همزمان دو کار نیازمند منابع توجهی بیشتری است و سالمندان، به‌ویژه کسانی که کاهش عملکرد شناختی دارند، مستعد شکست بیشتر در هر یک از تکالیف حرکتی یا شناختی هستند. پژوهش‌های قبلی نشان داده‌اند تغییر در دروندادهای بینایی سالمندان را بیشتر از جوانان تحت تأثیر قرار می‌دهند و سالمندان به بازخورد بینایی بیشتری برای تنظیم کنترل تعادل در حین راه‌رفتن تکیه دارند (۷). علاوه بر این، یوایگا و همکاران (۸) نشان دادند سالمندان، به‌ویژه کسانی که در معرض خطر بالای زمین‌خوردن هستند، الگوهای بینایی خاصی نشان می‌دهند که منعکس‌کننده کاهش توانایی استفاده از اطلاعات بینایی آنالین نسبت به جوانان هنگام مواجهه با تهدیدات غیرمنتظره در حین حرکت هستند. بنابراین، درک تأثیر فرآیند سالمندی بر حرکت و راه‌رفتن، یک ضرورت اصلی برای گسترش مداخلات مؤثر در پیشگیری از زمین‌خوردن است. حرکت مؤثر و کارآمد بر اساس یک فرآیند هماهنگ شکل می‌گیرد که شامل بازخوردهای بینایی، دهلیزی، حسی-عمقی و حسی-حرکتی است. گفته شده است که اطلاعات بینایی نقش غالب را در این فرآیند دارد (۹). در این راستا، پاتلا (۹) بیان کرد درونداد بینایی برای به‌کارگیری راهبردهای اجتنابی، تنظیم پیشگیرانه برای اطمینان از پایداری در محیط‌های پویا، تطبیق با سطوح مختلف مسیر حرکت و برنامه‌ریزی مسیری که مقصدشان از ابتدا قابل مشاهده نیست، اهمیت دارد. به‌طور خلاصه، اطلاعات فضایی-بینایی امکان تنظیم پیشگیرانه الگوهای راه‌رفتن را فراهم می‌کند که حرکت مؤثر و ایمن را تضمین می‌کند (۱۰). بیشتر زمین‌خوردن‌ها در سالمندان در حین حرکت روی سطوح هموار یا ناهموار (۱۱) یا هنگام عبور از پله‌ها (۱۲) رخ می‌دهد. بنابراین درک نحوه استفاده از بینایی برای هدایت انواع مختلف حرکت در این جمعیت اهمیت دارد.

مطالعات اهمیت اطلاعات بینایی در حین حرکت را به‌طور غیرمستقیم با استفاده از آزمون‌های حدّ بینایی، حساسیت کنتراست یا به‌طور مستقیم با مسدود کردن بخشی از میدان بینایی بررسی کرده‌اند (۱۳). این مطالعات نشان داده‌اند که بین توانایی‌های کاهش‌یافته بینایی و افزایش خطر زمین‌خوردن در سالمندان رابطه وجود دارد (۱۴). بیشتر افرادی که از نظر قانونی نابینا محسوب می‌شوند، دارای نوعی باقیمانده‌ی بینایی هستند. سازمان تامین اجتماعی^۱ در ایالات متحده، نابینایی را به صورت حدّ بینایی ۲۰/۱۰۰ یا میدان بینایی ۲۰ درجه یا کمتر تعریف می‌کند. بنابراین، از دست دادن کامل بینایی برای آنکه فرد در طبقه نابینایی قرار گیرد، الزامی نیست. برای مثال، در کاهش بینایی مرکزی، فوویا دچار اختلال می‌شود، در حالی که بینایی محیطی سالم باقی می‌ماند. افراد در مشاهده جزئیات ظریف با مشکل مواجه می‌شوند و ممکن است در میدان بینایی مرکزی خود دارای نقاط کور^۲ باشند که این امر منجر به اختلال در تعادل، جهت‌یابی و انجام

1. Social Security Administration

2. Scotomas

فعالیت‌های روزمره می‌شود. از این رو، کاهش بینایی مرکزی را می‌توان به عنوان از دست رفتن بینایی دقیق مرکزی همراه با حفظ نسبی بینایی محیطی تعریف کرد (۱۴). از جمله علل کاهش بینایی مرکزی می‌توان به بیماری‌های ماکولا^۱ مانند زوال ماکولا وابسته به سن^۲ و رتینوپاتی دیابتی^۳ اشاره کرد (۱۵). زوال ماکولا وابسته به سن حدود ۲.۹۵ میلیون نفر را در ایالات متحده تحت تأثیر قرار می‌دهد، چهارمین علت اصلی نابینایی در جهان (با تعریف حدت بینایی ۴۰۰/۲۰) محسوب می‌شود و شایع‌ترین علت کاهش بینایی در سالمندان ایالات متحده است. یکی از نشانه‌های شایع زوال ماکولا وابسته به سن کاهش بینایی مرکزی است که در نتیجه آن، بینایی محیطی به‌عنوان جایگزین مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این رو، شناسایی میزان اثربخشی ابزارهای کمکی موجود که برای تعادل و جابجایی در افراد مبتلا به کاهش بینایی مرکزی طراحی شده‌اند، اهمیت دارد. در واقع، یک مرور پیشین درباره کیفیت زندگی در افراد با کاهش بینایی مرکزی نشان داد که چالش‌های اصلی شامل حفظ تعادل، توانایی رفتن از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر و افزایش خطر زمین‌خوردن است. بنابراین، تحرک مرتبط با راه‌رفتن در کاهش بینایی مرکزی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و نیازمند بررسی علمی است (۱۶). پیشرفت‌های اخیر در فناوری امکان بررسی کمی رفتار خیرگی را فراهم کرده است و معمولاً از طریق تثبیت^۴ و حرکات سریع چشم یا ساکاد^۵ ارزیابی می‌شود. تثبیت زمانی رخ می‌دهد که چشم برای مدت حداقلی بر روی یک ناحیه از پیش تعیین‌شده ثابت بماند، در حالی که ساکاد به حرکت سریع و پرش‌گونه چشم بین دو ناحیه تثبیت‌شده اشاره دارد (۱۷). علاوه بر این، تحلیل مقدماتی ما از متون علمی نشان داد که مقالات اندکی به ابزارهای کمکی برای بهبود تعادل و جابجایی در افراد با کاهش بینایی مرکزی پرداخته‌اند. در مقابل، پژوهش‌های متعددی به بررسی وسایل کمک‌تحرکی برای کاهش بینایی محیطی اختصاص یافته‌اند. برای نمونه، فناوری واقعیت افزوده، دستگاه‌های هشدار برخورد و ابزارهای گسترش میدان بینایی به‌عنوان روش‌هایی برای بهبود تحرک در کاهش بینایی محیطی مطالعه شده‌اند. با این حال، کمبود چشمگیری از مطالعات که به بررسی وسایل کمکی ویژه کاهش بینایی مرکزی بپردازند، وجود دارد. یکی از اهداف این مرور، برجسته‌سازی همین خلأ پژوهشی است.

کاهش بینایی مرکزی با مشکلات تعادلی، از جمله زمین‌خوردن همراه است. این امر ممکن است به دلیل از دست دادن تعادل، تشخیص ندادن موانع یا ارزیابی نادرست فاصله آن‌ها باشد. آسیب‌پذیری نسبت به زمین‌خوردن می‌تواند تعداد خروج از منزل را کاهش دهد و انزوای اجتماعی را افزایش دهد. کاهش تحرک ناشی از کاهش بینایی مرکزی با اختلالات روانی مانند افسردگی و اضطراب مرتبط است. علاوه بر این با صدمات ناشی از حوادث غیر از زمین‌خوردن نیز مرتبط است، به‌طوری که بیش از یک‌سوم صدمات غیرمرتبط با زمین‌خوردن ناشی از برخورد با اشیاء دیگر می‌باشد. دلایل متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد افرادی که از بینایی محیطی به جای بینایی مرکزی به‌عنوان منبع اصلی اطلاعات بینایی خود استفاده می‌کنند، ممکن است در حرکت با مشکلات بیشتری نسبت به افرادی که بر بینایی مرکزی تکیه دارند، مواجه شوند. بینایی محیطی دارای حدت بینایی پایین‌تری است که تمایز جزئیات محیط را نسبت به بینایی مرکزی دشوارتر می‌کند (۱۸). همچنین بینایی محیطی با ادراک عمق ضعیف و دشواری در تشخیص اشیاء ساکن همراه است. در نتیجه، افرادی که به بینایی محیطی وابسته‌اند، مانند کسانی که دچار کاهش بینایی مرکزی هستند، ممکن است موانع ثابت را هنگام راه‌رفتن متوجه نشوند یا اگر مانع شناسایی شود، فاصله آن به دلیل ادراک عمق نادرست ممکن است به‌درستی تخمین زده نشود. اگرچه به‌طور کلی بینایی محیطی باعث شناسایی سریع حرکت اشیاء می‌شود، قضاوت‌ها درباره زمان برخورد یک جسم متحرک به دقت بینایی مرکزی نیست، زیرا آستانه‌های بزرگ‌تر گسترش اپتیکی^۶ یا لومینگ^۷ در بینایی محیطی وجود دارد. لومینگ به افزایش اندازه اپتیکی یک جسم نزدیک‌شونده با کاهش فاصله آن تا ناظر اشاره دارد. ناظران می‌توانند از لومینگ برای تشخیص نزدیکی استفاده کنند. این آستانه در بینایی محیطی بزرگ‌تر از بینایی مرکزی است، به این معنی که جسم باید نسبتاً نزدیک‌تر باشد تا ناظر متوجه لومینگ (و در نتیجه نزدیک شدن) شود (۱۹). برای

1. Macular diseases
2. Age-related macular degeneration
3. Diabetic retinopathy
4. Fixations
5. Saccades
6. Optical expansion
7. Looming

کاهش اثرات کاهش بینایی مرکزی بر جابجایی، ابزارهایی طراحی شده‌اند که به افراد در انجام فعالیت‌های روزمره، تعادل و جابجایی کمک کنند. برای مثال، افراد با اختلال بینایی معمولاً از عصای سفید استفاده می‌کنند که به کاربر کمک می‌کند محیط را اسکن کرده و موانع و خطرات را شناسایی کند (۲۰). ابزارهای کمکی جابجایی را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد: دستگاه‌های جایگزینی حسی که این دستگاه‌ها اطلاعات بینایی را به حالت^۱ دیگری (مانند صدا) ترجمه می‌کنند تا از برخورد با موانع جلوگیری شود. آموزش که به افراد کمک می‌کند تا یاد بگیرند چگونه از برخورد با موانع جلوگیری کنند. یک نوع پرکاربرد از این آموزش، آموزش جهت‌یابی و جابجایی است که مهارت‌های مختلفی را بر اساس قابلیت‌های بینایی و سبک زندگی فرد ارائه می‌دهد و دستگاه‌های مبتنی بر صفحه نمایش^۲ که بینایی بخش‌های خاصی از محیط را با حذف اطلاعات بصری غیرضروری تقویت می‌کنند تا افراد بهتر بتوانند در اطراف موانع حرکت کنند (۲۱). افراد با کاهش بینایی مرکزی می‌توانند یک ناحیه جایگزین شبکه‌ای به‌عنوان فوویای جانشین را رشد دهند که به آن محل ترجیحی شبکه^۳ گفته می‌شود و اگر این محل به اندازه کافی به فوویا نزدیک باشد، ممکن است نیاز به استفاده از ابزارهای کمکی جابجایی اضافی را از بین ببرد. با این حال، رشد محل ترجیحی شبکه به یک موقعیت تثبیت‌شده حدود شش ماه زمان می‌برد (۲۳). علاوه بر این، شواهد نشان می‌دهند که افراد با کاهش بینایی مرکزی ممکن است چندین محل ترجیحی شبکه داشته باشند که بسته به تکلیفی که انجام می‌دهند یا ویژگی‌های محیط مانند روشنائی، به‌طور متناوب از آن‌ها استفاده می‌کنند (۲۴، ۲۵).

به دلیل مدت زمان لازم برای رشد یک محل ترجیحی شبکه پایدار، افرادی که به‌تازگی دچار کاهش بینایی مرکزی شده‌اند، ممکن است در حین راه‌رفتن و انجام فعالیت‌های روزمره به حمایت بیشتری نیاز داشته باشند تا به وضعیت جدید خود عادت کنند. یکی از گزینه‌ها، ارجاع بیماران به کلینیک کم‌بینایان است که تمرین‌هایی متناسب با سطح توانایی بیماران ارائه می‌دهد. با این حال، درمان و آموزش ممکن است مدتی طول بکشد تا بیماران پیشرفت‌های قابل‌توجهی در توانایی‌های خود مشاهده کنند. بنابراین، یافتن گزینه‌های جایگزین برای کمک به بیماران در راه‌رفتن و انجام کارهای روزمره در حالی که هنوز در حال رشد محل ترجیحی شبکه پایدار هستند، اهمیت دارد. علاوه بر این، پیشرفت بیماری‌های بینایی می‌تواند منجر به کاهش بینایی بیشتر در محل‌های ترجیحی شبکه‌ای که قبلاً رشد یافته‌اند، شود و بیماران را مجبور کند محل ترجیحی جدیدی ایجاد کنند. این تغییر مکان نیز نیازمند آموزش جدید در کلینیک کم‌بینایان است. از این رو، ارائه ابزارهای بصری کمکی برای حمایت از جابجایی و حفظ تعادل می‌تواند دوره سازگاری با شرایط جدید را برای بیماران تسهیل کند (۲۶، ۲۷).

به طور خلاصه، بینایی محیطی توانایی تشخیص اشیاء ثابت و متحرک را کاهش می‌دهد و بنابراین افرادی که دچار کاهش بینایی مرکزی هستند (و بیشتر به بینایی محیطی متکی‌اند) ممکن است از ابزارهای کمکی جابجایی بهره‌مند شوند، از جمله ابزارهایی مانند دستگاه‌های جایگزینی حسی یا عصای سفید برای جهت‌یابی در محیط که در اصل برای کاهش بینایی محیطی یا نابینایی کامل طراحی شده‌اند. به‌طور سنتی، دستگاه‌های جایگزینی حسی به‌عنوان جایگزینی کامل برای بینایی استفاده می‌شوند (۲۸)؛ به این معنا که دستگاه به طور کامل جایگزین بینایی می‌شود. با این حال، افرادی که تنها دچار کاهش بینایی مرکزی هستند نیازی به جایگزینی کامل بینایی ندارند، زیرا همچنان می‌توانند از بینایی محیطی برای جهت‌یابی استفاده کنند. در عوض، دستگاه‌های جایگزینی حسی می‌توانند مکمل بینایی باشند و کاربر را نسبت به موانع ثابت و متحرک هشدار دهند، موانعی که به دلیل محدودیت‌های بینایی محیطی ممکن است نادیده گرفته شوند. برای مثال، افراد با کاهش بینایی مرکزی اغلب فاصله یک مانع را نادرست تخمین می‌زنند و ممکن است نتوانند از برخورد با آن جلوگیری کنند. اجتناب از برخورد می‌تواند با استفاده از یک دستگاه جایگزینی حسی که فرد را از وجود مانع در مسیر مطلع می‌کند و توجه او را جلب می‌کند بهبود یابد، حتی اگر دستگاه نتواند مکان و اندازه دقیق مانع را مشخص کند (۱۹).

1. Modality
2. Screen-based devices
3. The preferred retinal locus

در ادبیات موجود مرورهای متعددی درباره کاهش بینایی مرکزی و دژنراسیون ماکولا وابسته به سن وجود دارد که اغلب بر اپیدمیولوژی، درمان، کیفیت زندگی و توانبخشی از جمله ابزارهای کمکی تمرکز دارند. مرورهای اخیر بر اثرات انواع مختلف کاهش میدان بینایی، از جمله کاهش بینایی مرکزی، بر عملکرد رانندگی، تصادفات وسایل نقلیه موتوری و تشخیص خطر تمرکز کرده‌اند (۲۹، ۳۰، ۳۱). برای مثال، اُسلی و مک‌گووین^۱ (۳۲) به‌طور ویژه بر رانندگی و کاهش بینایی مرکزی ناشی از دژنراسیون ماکولا وابسته به سن تمرکز کردند. یافته اصلی این بود که با وجود عدم وجود ارتباط قابل توجه بین دژنراسیون ماکولا وابسته به سن و تصادفات، افراد با کاهش بینایی مرکزی عمدتاً ناشی از این بیماری، عملکرد رانندگی ضعیف‌تری نسبت به افراد با بینایی طبیعی دارند. نرخ پایین تصادفات احتمالاً به دلیل اجتناب رانندگان از رانندگی در شب، رانندگی در مناطق ناآشنا و رانندگی در ترافیک است. این مرورها مجدداً نشان دادند که عملکرد رانندگی با کاهش بینایی مرکزی، عمدتاً ناشی از دژنراسیون ماکولا وابسته به سن، ضعیف‌تر از عملکرد رانندگی با بینایی طبیعی است. برای مثال، در یک مطالعه کمتر از ۲۵٪ از رانندگان با کاهش بینایی مرکزی در ارزیابی رانندگی در جاده موفق شدند. همچنین زمان واکنش رانندگان با کاهش بینایی مرکزی کندتر از رانندگان با بینایی طبیعی بود، حتی سرعت حرکت آن‌ها نسبتاً کمتر بود. گالنا و همکاران^۲ (۳۳) به‌طور نظام‌مند عبور از موانع در سالمندان را در شرایط بدون محدودیت و با محدودیت زمانی مرور کردند، و بارگیری و همکاران^۳ (۳۴) تأثیر سالمندی بر رفتار راه‌رفتن آزاد و تطبیقی را بررسی کردند. هیچ‌یک از این مطالعات اهمیت رفتار خیرگی را ارزیابی نکردند. اخیراً، هیگوچی^۴ (۳۵) کنترل دیداری-حرکتی تطبیقی انسان را مرور کرده است، اما به‌طور ویژه بر تغییرات مرتبط با سالمندی تمرکز نداشت. یک خلأ مهم در مرورهای پیشین این است که هیچ‌یک به تأثیر کاهش بینایی مرکزی بر تعادل و جابجایی هنگام راه‌رفتن نپرداخته‌اند. این خلأ در مرور حاضر مورد توجه قرار گرفته است.

درک تأثیر کاهش بینایی مرکزی بر تعادل و جابجایی ضروری است تا بتوان مداخلاتی را گسترش داد که به کاهش زمین‌خوردن و صدمات، و ارتقای تحرک، استقلال و سلامت روانی کمک کنند. وجود مطالعاتی که تلاش می‌کنند استفاده از مولفه‌های بینایی در تمرین راه‌رفتن و تعادل را پشتیبانی کنند، بررسی‌های جامع درباره اثربخشی مداخلات مرتبط با بینایی در سالمندان هنوز انجام نشده است. یک مرور نظام‌مند اخیر با دامنه مشابه شامل پنج کارآزمایی کنترل‌شده تصادفی مرتبط بود که بررسی کردند آیا تمرین با بازخورد زیستی، به‌ویژه مرتبط با بازی‌های ویدیویی، بینایی، واقعیت افزوده و واقعیت مجازی، در بهبود تعادل در سالمندان سالم مؤثر است یا خیر (۳۶). در مجموع، ۱۸۱ شرکت‌کننده شامل این مطالعات شدند. معیارهای نتایج شامل هرگونه ابزار معتبر اندازه‌گیری تعادل برای سنجش تعادل ایستا و پویا در سالمندان بود. اکثریت مطالعات مورد بررسی در ارزیابی کیفیت به عنوان کیفیت متوسط^۵ رتبه‌بندی شدند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که این نوع تمرینات بازخورد زیستی در مقایسه با عدم مداخله یا تمرینات سنتی، نتایج بهتری در توانایی تعادل سالمندان سالم نشان داده‌اند. با این حال، بیان نتیجه قطعی درباره کاربرد احتمالی تمرین با بازخورد زیستی دشوار است، زیرا مطالعات از نظر پروتکل مداخله، کیفیت روش‌شناسی و معیارهای نتایج تفاوت زیادی دارند. با توجه به رشد سریع فناوری‌ها، مرورهای نظام‌مند دیگری نیز وجود دارند که شواهد مربوط به کاربرد ایکس‌گیمینگ (بازی‌های کامپیوتری مبتنی بر تمرین) و تمرینات واقعیت مجازی در بهبود تعادل و راه‌رفتن در سالمندان را جمع‌بندی کرده‌اند (۳۷، ۳۸). متأسفانه، این مرورها عمدتاً بر حوزه بازی‌های ویدیویی و واقعیت مجازی تمرکز داشته‌اند و تحلیل مداخلات موجود با تغییرات خاص بینایی یا خیرگی را ارائه نکرده‌اند. پژوهش حاضر با تمرکز بر سه پرسش هدایت شد: کاهش بینایی مرکزی چگونه بر تعادل و جابجایی تأثیر می‌گذارد؟ چه تغییرات رفتاری و شناختی در جابجایی افراد با کاهش بینایی مرکزی رخ می‌دهد؟ چه مداخلاتی برای مقابله با اثرات منفی کاهش بینایی مرکزی بر جابجایی و تعادل رشد یافته‌اند؟

1. Owsley & mcgwin

2. Galna et al.

3. Barbieri et al

4. Higuchi

5. Fair

روش‌شناسی پژوهش

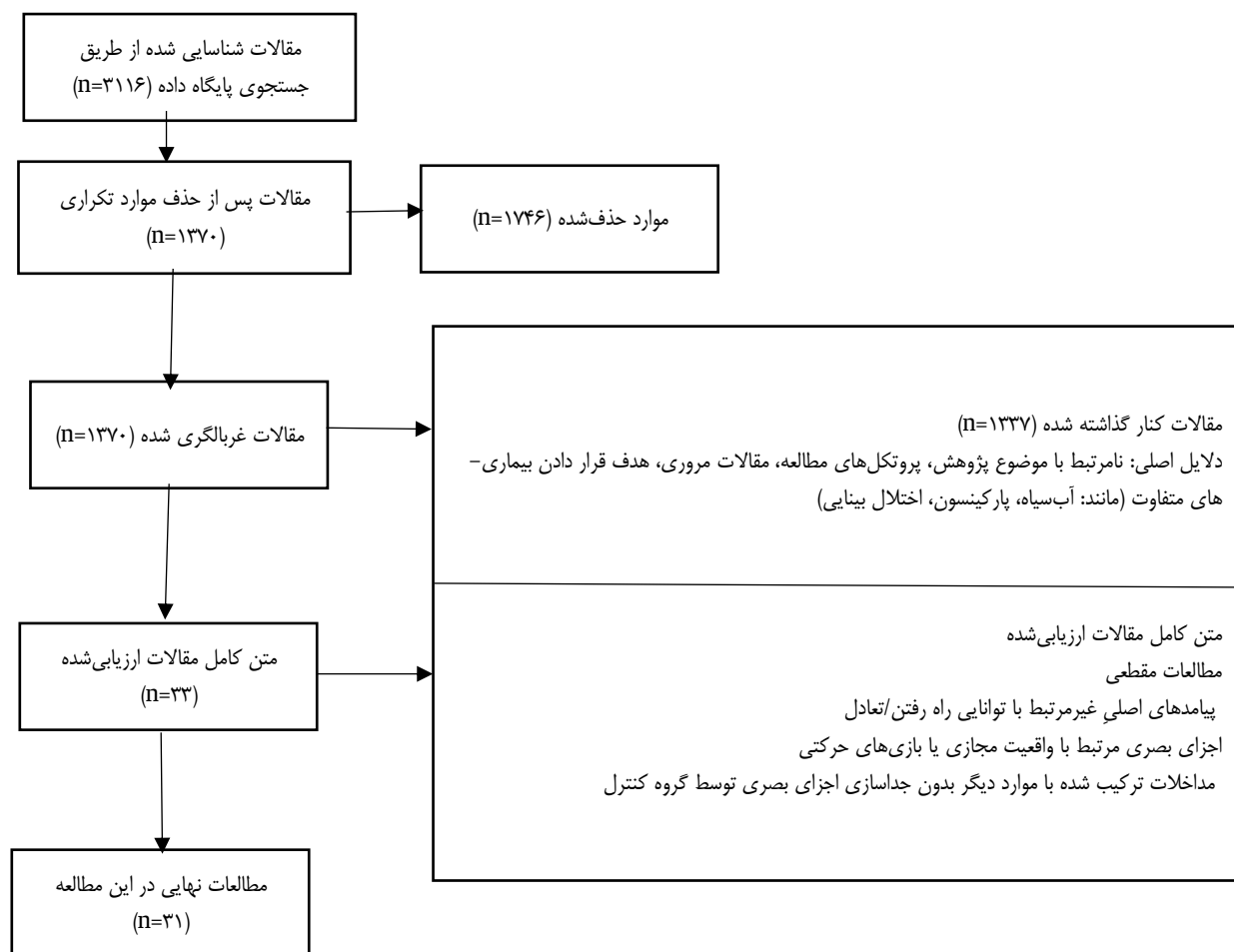
در این مطالعه، دستورالعمل‌های پریزما^۱ برای جستجو، جمع‌آوری و دسته‌بندی مقالات دنبال شد (۳۹). این دستورالعمل‌ها به نویسندگان روشی سیستماتیک ارائه می‌دهند که شفاف و قابل تکرار است و کیفیت مرور نظام‌مند را تضمین می‌کند. جستجوی مطالعات از بدو تأسیس پایگاه‌های داده تا فوریه ۲۰۲۶ انجام شد. دو ساختار جستجوی جداگانه برای کاهش بینایی مرکزی و مداخلات جابجایی در چهار پایگاه داده APA PsycArticles، PsycINFO، PubMed و Web of Science اجرا شد و از کلید واژه‌های زیر استفاده شد:

(Age-Related Macular Degeneration OR Macular Disease OR Central Vision Loss OR Central Visual Field Loss) AND (balance OR static balance OR dynamic balance OR Street Cross* OR Time to contact OR Time to collision OR obstacle avoidance OR obstacle crossing, Age-Related Macular Degeneration OR Macular Disease OR Central Vision Loss OR Central Visual Field Loss OR Low Vision OR Vision Loss) AND (balance OR obstacle OR Street Cross) AND (gait OR walk OR locomotion OR balance OR posture) AND (intervention OR training OR program) AND (old OR older OR advanced age OR senior OR elder OR geriatric OR aging OR aged OR ageing) AND (intervention OR Training OR Rehabilitation).

معیارهای ورود شامل موارد زیر بود: متغیرهای مطالعه شامل اندازه‌گیری مستقیم رفتار خیرگی باشد، طراحی مطالعه شرکت‌کنندگان را در حداقل یک نوع حرکت (مثلاً راه رفتن، عبور از پله‌ها، اجتناب از موانع) با رفتار خیرگی درگیر کرده باشد، مطالعات شامل سالمندان (≤ 60 سال) یا مطالعات شبیه‌سازی کاهش دید مرکزی در افراد سالم که به بررسی مکانیسم‌های تعادل و جابجایی پرداخته‌اند و روش‌شناسی مطالعه تجربی باشد. مطالعاتی که حذف شدند شامل موارد زیر بودند: مطالعاتی که عمدتاً گروه‌های بیمار تشخیص داده‌شده را با سالم‌ها مقایسه می‌کردند، مطالعاتی که از محیط مجازی یا حرکت روی تردمیل استفاده کرده بودند، مقالاتی که به زبان دیگری غیر از انگلیسی منتشر شده بودند، مقالات مروری و منابع منتشرنشده مانند پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها حذف شدند.

انتخاب مطالعات

انتخاب مقالات بر اساس نمودار جریان پریزما صورت گرفت (۳۹) (شکل ۱). پس از حذف مقالات تکراری، ۱۳۷۰ رکورد برای غربالگری عنوان و چکیده باقی ماند. در این مرحله، ۱۳۳۷ مقاله به دلیل عدم ارتباط با موضوع، مقالات مروری، پروتکل‌ها، یا بررسی بیماری‌های نامرتبب کنار گذاشته شدند. در نتیجه، متن کامل ۳۳ مقاله برای ارزیابی واجد شرایط بودن بررسی شد. پس از ارزیابی متن کامل، دو مقاله به دلیل عدم انطباق با معیارهای ورود حذف شدند و در نهایت ۳۱ مطالعه وارد مرور نظام‌مند شدند.



شکل ۱. نمودار جریان شناسایی مقالات و غربالگری آنها

یافته‌های پژوهش

نتایج در دو دسته‌ی کلی شامل توانایی‌های حرکتی و مداخلات مرتبط با حرکت جای گرفت. مطالعات واردشده شامل دو دسته بودند: (۱) مطالعات انجام‌شده بر سالمندان با کاهش بینایی مرکزی واقعی و (۲) مطالعات شبیه‌سازی کاهش بینایی مرکزی در افراد سالم به‌منظور بررسی مکانیسم‌های پایه‌ای. جدول ۱ خلاصه‌ای از هر مقاله واردشده در این مرور را ارائه می‌دهد.

جدول ۱. خلاصه‌ای از مقالات مرور شده

محقق	نمونه/نوع کاهش بینایی	
الکساندر و همکاران (۱۹)	سالمندان / واقعی	افراد مبتلا به دژنراسیون ماکولا وابسته به سن (AMD) در مقایسه با گروه کنترل، در شرایط نوری کم و کاهش ناگهانی
الکساندر و همکاران (۴۰)	سالمندان / واقعی	افراد مبتلا به AMD هنگام نزدیک شدن به لبه جدول محتاط‌تر عمل کرده و برای عبور از آن در شرایط نوری مختلف، زمان بیشتری صرف می‌کنند.
تیمیس و پردهان (۴۱)	بزرگسالان / شبیه‌سازی	افراد با نقص بینایی مرکزی، هنگام عبور از روی موانع، ارتفاع آن‌ها را بیش از حد واقعی تخمین می‌زنند.

حسن و همکاران (۴۲)	سالمندان / واقعی	تفاوت‌هایی در حرکات سر هنگام عبور از خیابان در مبتلایان به AMD مشاهده شد که نشان می‌دهد افراد با نقص بینایی مرکزی ممکن است محیط را به‌طور کامل در نظر نگیرند.
گروشات و همکاران (۴۳)	سالمندان / واقعی	مبتلایان به AMD تمایل دارند بیشتر بر عناصر خط‌کشی و عبور تمرکز کنند تا خودروها و ممکن است محیط را به‌طور کامل مشاهده نکنند.
زلیک و همکاران (۴۴)	سالمندان / واقعی	تلسکوپ بایوپتیک باعث بهبود تحرک و مسیریابی نشد و تأثیر آن عمدتاً در رانندگی بود.
المطلب و حسن (۴۵)	بزرگسالان / واقعی	نتایج حاکی از آن است که افراد مبتلا به نقص بینایی مرکزی می‌توانند با توانایی‌های مشابه نسبت به گروه کنترل (افراد سالم) از خیابان عبور کنند.
اوبرین و همکاران (۴۶)	بزرگسالان / شبیه-سازی (بینایی کم)	اگرچه نتایج ذهنی نشان می‌دهند که افراد ممکن است از یک دستگاه جایگزین حسی متصل به عصا بهره‌مند شوند، اما با استفاده از شاخص‌های توصیف‌شده، نتایج معناداری یافت نشد.
تورانو و همکاران (۴۷)	سالمندان / واقعی	افراد مبتلا به نقص بینایی مرکزی هنگام پیمایش محیط برای یافتن پلاک تمایل دارند به جای دیوارها و درها، نگاه خود را بر روی زمین متمرکز کنند.
تیمیس و همکاران (۴۸)	بزرگسالان / شبیه-سازی شده	نوع نقص بینایی مرکزی بر سرعت پیاده‌روی و توانایی تخمین فاصله مجاز برای عبور از موانع تأثیر می‌گذارد.
ون ریده و همکاران (۴۹)	بزرگسالان / بینایی کم	اگرچه یک نمایشگر بصری (که جزئیات غیرضروری را از محیط حذف می‌کرد) موجب بهبود اجتناب از موانع شد اما باعث ایجاد تردید بیشتر و کاهش سرعت پیاده‌روی گردید.
گراپر و حسن (۵۰)	سالمندان / بینایی کم	سن و تجربه قبلی، و نه توانایی بینایی، منجر به تخمین دقیق‌تر زمان عبور از خیابان شده است.
کویک و همکاران (۵۱)	بزرگسالان / بینایی کم (ترکیبی)	افرادی که تحت آموزش تکلیف جستجوی بصری قرار می‌گیرند، ممکن است بتوانند موانع را در مسیر حرکت سریع‌تر تشخیص داده و در نتیجه از آن‌ها اجتناب کنند.
نویگبائر و همکاران (۵۲)	سالمندان / واقعی	اگرچه شرکت‌کنندگان همچنان در استفاده از عصای سفید عملکرد بهتری دارند (احتمالاً به دلیل سال‌ها آموزش)، اما می‌توانند با استفاده از دستگاه جایگزین حسی نیز با موفقیت مسیریابی کنند.
لگ و همکاران (۵۳)	بزرگسالان / شبیه‌سازی (چشم‌بند)	افراد می‌توانند از یک دستگاه دستی برای اسکن بارکدها و یافتن اتاق‌ها یا سایر مناطقی که قصد مسیریابی به آن‌ها را دارند، استفاده کنند.
کیم و همکاران (۵۴)	بزرگسالان / شبیه‌سازی	یک سیستم نوین که اطلاعات بینایی را به اطلاعات شنیداری ترجمه می‌کند، می‌تواند برای جهت‌یابی موفقیت‌آمیز در محیط مورد استفاده قرار گیرد.
تورانو و همکاران (۵۵)	بزرگسالان و سالمندان / واقعی و شبیه‌سازی شده	نقص بینایی مرکزی بر دریافت اطلاعات بینایی و انطباق‌پذیری هنگام حرکت به سمت یک هدف مشخص تأثیرگذار است.
حسن و همکاران (۵۶)	بزرگسالان و سالمندان / واقعی و شبیه‌سازی شده	تفاوت‌های مشاهده شده در تحرک بین گروه‌ها (نقص بینایی مرکزی و بینایی عادی)، بیش از آنکه ناشی از اختلالات بینایی باشد، حاصل عامل سن بوده است.
دی فابیو و همکاران (۵۷)	سالمندان / واقعی	سالمندان با ریسک پایین سقوط تمایل داشتند نگاه خود را در همان جهت چرخش سر و تنه متمرکز کنند؛ در حالی که سالمندان با ریسک بالای سقوط، نگاه خود را در جهت مخالف چرخش سر و تنه معطوف می‌کردند.
ایتو و فوکودا (۵۸)	بزرگسالان و سالمندان / واقعی و شبیه‌سازی شده	نقاط دید در جوانان در سطح چشم قرار داشت، اما در سالمندان پایین‌تر از سطح چشم بود. همچنین، سالمندان وابستگی شدیدی به بینایی مرکزی داشتند، در حالی که جوانان از بینایی محیطی نیز استفاده می‌کردند.
پاکت و ولیس (۵۹)	بزرگسالان و سالمندان / واقعی و شبیه‌سازی شده	سالمندان در فاصله دو قدم مانده به مانع، زمان بیشتری را صرف نگاه کردن به زمین می‌کردند؛ در مقابل، جوانان حتی زمانی که در حین تکلیف دور زدن، نشانه بصری دیر هنگامی ارائه می‌شد، نگاه خود را بر روی مانع یا دیوار پیش‌رو متمرکز نگه می‌داشتند.
پتروفسکی و همکاران (۶۰)	بزرگسالان و سالمندان / واقعی و شبیه‌سازی شده	در گروه سنی مسن‌تر، نوسان و تغییرات حرکات جانبی چشم هم در راه رفتن مستقیم و هم در چرخش، به شکل معناداری بیشتر بود. همچنین در گروه سنی ۴۰ تا ۵۹ سال نسبت به دو گروه جوان‌تر، افزایش معناداری در تغییرات حرکات جانبی چشم هنگام چرخش مشاهده شد.

دی فابیو و همکاران (۶۱)	بزرگسالان، سالمندان / واقعی و شبیه سازی شده	هر دو گروه سالمند و جوان، حرکات ساکادیک را پیش از گام برداشتن آغاز کردند. با این حال، سالمندان زمان تأخیر طولانی تری بین ساکاد و گام برداشتن نشان دادند که حاکی از تأخیر در پردازش اطلاعات است.
کاساهارا و همکاران (۶۲)	سالمندان / واقعی	سالمندان برای اطمینان از رفتارهای ایمن هنگام گام برداشتن، تمایل داشتند بیشتر از بینایی مرکزی استفاده کنند که این امر موجب محدود شدن دامنه حرکات چشم می گردید. در هر دو گروه، دامنه حرکات عمودی چشم وسیع تر از حرکات افقی بود. همچنین، سالمندان در شرایط نوری تاریک، مدت زمان تثبیت نگاه خود را هنگام پایین آمدن از پله افزایش دادند.
زیتس و هالندز (۶۳)	سالمندان / واقعی	یافته ها نشان داد که سالمندان پیش از گام نهادن روی پله ها، مدت زمان طولانی تری روی آن ها تثبیت نگاه انجام می دهند که نشان دهنده تغییر در سرعت پردازش اطلاعات است. در هر دو گروه سنی و در هر دو جهت حرکت، شرکت کنندگان نگاه خود را تقریباً بر روی سه پله جلوتر تثبیت می کردند.
دی فابیو و همکاران (۶۴)	سالمندان / بدون دستکاری دید	سالمندان ساکادهای آمادگی کمتری نشان دادند و زمان تأخیر بین انجام ساکاد و بلند کردن پای عقب در آن ها طولانی تر بود.
دی فابیو و همکاران (۶۵)	سالمندان / بدون دستکاری دید	سالمندان با کارکرد اجرایی پایین نرخ برخورد بیشتری با موانع داشتند، زمان تأخیر بین ارائه نشانه و ساکاد در آن ها طولانی تر بود و در مقایسه با سالمندان با کارکرد اجرایی بالا و گروه جوانان، ساکادهای رو به پایین کمتری انجام دادند.
چپمن و هالندز (۶۶)	سالمندان / بدون دستکاری دید	سالمندان با ریسک بالای سقوط، زودتر از جوانان و سالمندان با خطر کم سقوط، خیرگی خود را از هدف منحرف می کردند (انتقال خیرگی زود هنگام) و تنوع بیشتری در محل قرارگیری پا نشان دادند. همچنین، سالمندان به زمان بیشتری برای برنامه ریزی حرکات گام برداری و اقدامات آتی نیاز داشتند.
یانگ و هالندز (۶۷)	سالمندان / واقعی	جلوگیری از انتقال زود هنگام خیرگی، سالمندان انتقال خیرگی را تا زمان تماس پاشنه به تأخیر انداختند که این امر با کاهش خطاهای گام برداری همراه بود.
یامادا و همکاران (۶۸)	سالمندان / واقعی	افراد با سابقه سقوط و افراد بدون سابقه سقوط، الگوهای نگاه مشابهی را در شرایط تک تکلیفی نشان دادند؛ اما در شرایط تکلیف دوگانه، افراد با سابقه سقوط، نگاه خود را زودتر از گروه دیگر منتقل کردند که نشان دهنده تمایل به برنامه ریزی حرکات آتی است.
یامادا و همکاران (۶۹)	بزرگسالان و سالمندان / واقعی و دستکاری دید	جوانان خیرگی خود را بر حدود سه قدم جلوتر تثبیت می کردند، در حالی که سالمندان (به ویژه گروه پرخطر) خیرگی را در فاصله های نزدیک تر به هدف تثبیت کردند که این امر منجر به اختلال در برنامه ریزی گام های آتی شد. همچنین سالمندان پرخطر، نرخ بالاتری از شکست در گام برداری و اجتناب از موانع را نشان دادند.

مسیریابی

توانایی های حرکتی در مسیریابی معیارهای معمول مسیریابی (مثلاً سرعت ترجیحی راه رفتن) بین افراد با کاهش بینایی مرکزی و افراد با بینایی طبیعی تفاوتی نشان نداد (۴۷، ۵۶). برای مثال، هنگامی که شرکت کنندگان در مسیر داخلی راه رفتند (۵۶)، عملکرد در انجام تکلیف و سرعت ترجیحی راه رفتن بین شرایط روشنایی کم و زیاد متفاوت بود اما بین افراد با کاهش بینایی مرکزی و گروه کنترل هم سن تفاوتی مشاهده نشد. به طور مشابه، اگرچه افراد با کاهش بینایی مرکزی توانستند به مکان مشخصی هدایت شوند، الگوهای خیرگی آن ها با کنترل های بینایی متفاوت بود (۴۷). به طور مشخص، هنگامی که شرکت کنندگان در یک راهرو حرکت کردند تا در دفتر مشخصی (با شماره اتاق) را پیدا کنند، افراد با کاهش بینایی مرکزی نسبت به کنترل ها نگاه های بیشتری به کف راهرو داشتند، در حالی که کنترل ها بیشتر به درهای سمت چپ نگاه می کردند که در هدف واقع شده بود.

ابزارهای کمکی برای مسیریابی شامل آموزش و فناوری ها بودند و نتایج سطوح مختلفی از اثربخشی را نشان دادند. نتایج یک مطالعه نشان داد که افراد با کاهش بینایی ممکن است از آموزش جستجوی بصری بهره مند شوند تا هنگام راه رفتن از موانع جلوگیری کنند (۵۱). شرکت کنندگان با بینایی کم (شامل افراد با کاهش بینایی محیطی و مرکزی) ابتدا دو بار مسیر موانع را با شرایط روشنایی متفاوت طی کردند. سپس شرکت کنندگان گروه تمرین یک هفته آموزش جستجوی ویژگی های بصری (یافتن مربع کمی بزرگ تر در میان مجموعه ای از مربع های کوچک تر) را دریافت کردند. شرکت کنندگانی که آموزش ندیده بودند، صرفاً آزمون های پیش و پس را انجام دادند.

سپس هر دو گروه مسیر موانع را مجدداً طی کردند. شرکت‌کنندگانی که آموزش جستجوی بصری دریافت کرده بودند پس از آموزش، تماس قابل توجه کمتری نسبت به اجرای اولیه با موانع داشتند اما این اثر تنها در شرایط روشنائی متوسط مشاهده شد. شرکت‌کنندگانی که آموزش ندیده بودند، چنین تفاوتی را نشان ندادند. اثرات آموزش در روشنائی نور کامل مشاهده نشد. تلسکوپ‌های بایوپتیک^۱ برای کمک به حرکت و افزایش جزئیات محیطی استفاده شده‌اند، به‌گونه‌ای که اطلاعات بصری از میدان دید مرکزی آسیب‌دیده به نواحی سالم میدان دید منتقل می‌شود. برای مثال، زلیک و همکاران^۲ (۴۴) اثرات این تلسکوپ‌ها بر مسیریابی افراد با کاهش بینایی مرکزی را بررسی کردند. در این مطالعه، یک گروه از شرکت‌کنندگان با کاهش بینایی مرکزی آموزش استفاده از تلسکوپ بایوپتیک را دریافت کردند، در حالی که گروه دوم (با کاهش بینایی مرکزی مشابه) هیچ آموزشی دریافت نکرد. هر دو گروه تلسکوپ بایوپتیک را به همراه داشتند و سه بار آزمون شدند: یک بار بلافاصله پس از دریافت تلسکوپ بایوپتیک یک بار پس از سه ماه استفاده و یک بار پس از شش ماه استفاده بررسی شدند. اگرچه استفاده از تلسکوپ بایوپتیک مسیریابی را بهبود نداد اما عملکرد رانندگی را بهبود بخشید. افراد در گروه آموزش، بهبود قابل توجهی در رانندگی نسبت به گروه بدون آموزش نشان دادند. همچنین ابزارهای کمکی برای مسیریابی شامل دستگاه‌های فناوریانه می‌شدند. برای مثال، مدنبام و همکاران^۳ (۲۰) ابزار کمکی مسیریابی عصای هوشمند بینایی^۳ را گسترش دادند که اطلاعات فضایی را از طریق فرکانس‌های شنیداری و محرک‌های لمسی ارائه می‌دهد تا به کاربران کمک کند ساختار محیط را درک کرده و به‌طور ایمن در آن حرکت کنند. در هنگام پی‌مودن مسیر موانع، افراد هنگام استفاده از عصای سفید با موانع برخورد بیشتری داشتند نسبت به زمانی که از عصای هوشمند بینایی استفاده می‌کردند. افراد با کاهش بینایی مرکزی می‌توانند از این دستگاه برای شناسایی موانعی که در دید محیطی از دست رفته‌اند، بهره‌مند شوند. از این رو، این ابزار می‌تواند به‌عنوان سیستم هشدار به افراد با کاهش بینایی مرکزی کمک کند تا با امنیت بیشتری در محیط حرکت کنند. ابزار مسیریابی دیگری که توسط لگ و همکاران^۴ (۵۳) توسعه یافته از بارکدهای نصب‌شده در محیط برای کمک به کاربران در یافتن مکان‌های خاص استفاده می‌کند. کاربر می‌تواند بارکد را با یک دستگاه موبایل اسکن کند و یک اپلیکیشن، مسیرهای صوتی دقیق به مقصد مورد نظر ارائه می‌دهد. افراد نابینا و افراد با چشم‌بند، این دستگاه را با موفقیت برای رسیدن به اتاق مشخصی در محیط خود استفاده کردند. افراد با کاهش بینایی مرکزی که در خواندن شماره اتاق‌ها مشکل دارند، می‌توانند از این دستگاه برای هدایت به اتاق صحیح بدون نیاز به تکیه بر شماره‌های اتاق بهره ببرند.

مطالعات بررسی‌شده در بخش موانع نشان می‌دهد که ارتفاع مانع و شرایط روشنائی اطراف آن بر توانایی افراد با کاهش بینایی مرکزی در حرکت و عبور از موانع تأثیر می‌گذارد. برای مثال، از افراد با کاهش بینایی مرکزی واقعی، افرادی با کاهش بینایی مرکزی شبیه‌سازی‌شده با لنزهای تماسی و افراد با بینایی طبیعی خواسته شد تا از یک مسیر داخلی موانع عبور کنند و از روی مانع‌های کوچک قدم بزنند بدون آنکه با آن‌ها برخورد کنند. در شبیه‌سازی کاهش بینایی مرکزی، کاهش دید می‌توانست کامل، ۱۰ یا ۲۰ درجه باشد. معیارهای اندازه‌گیری شامل ارتفاع قدم (۴۱) هنگام عبور از مانع و سرعت راه رفتن (۴۸) بود. عملکرد گروه‌ها بین افراد با کاهش بینایی مرکزی و افراد با بینایی طبیعی مقایسه شد. نتایج نشان داد که افراد با کاهش بینایی مرکزی ارتفاع گام‌های بالاتری نسبت به افراد با بینایی طبیعی داشتند (۴۱)؛ افرادی که کاهش دید ۲۰ درجه داشتند، بالاترین ارتفاع گام و بیشترین فاصله‌ی پنجه از مانع را داشتند (تیمیس و همکاران، ۲۰۱۶). افراد مبتلا به دژنراسیون ماکولای وابسته به سن (AMD) در تطبیق با تغییرات نور محیط دچار مشکل هستند که این مسئله بر توانایی مسیریابی آن‌ها در محیط تأثیر می‌گذارد. برای مثال، شرکت‌کنندگان مبتلا به AMD از یک مسیر موانع عبور کردند و روی مرکز یک هدف صاف (۱۹) یا یک جداره (۴۰) در شرایط روشنائی متفاوت قدم گذاشتند. معیارهای اندازه‌گیری شامل سرعت راه رفتن و دقت قرارگیری پا روی هدف یا نسبت به جداره بود. افراد مبتلا به AMD در شرایط نور کم و همچنین در شرایطی که نور به‌طور ناگهانی تغییر می‌کرد، دقت

1. Bioptic Telescopes
2. Szlyk et al
3. EyeCane

کمتری در حرکت پا نسبت به افراد با بینایی طبیعی داشتند. دقت قرارگیری پا همچنین با دقت دید^۱، حساسیت کنتراست^۲ و کاهش میدان دید همبستگی داشت؛ کاهش دقت دید، حساسیت و افزایش از دست دادن میدان دید با کاهش دقت حرکت پا همراه بود (۴۰، ۱۹). افراد مبتلا به AMD همچنین سرعت راه رفتن کمتری داشتند (۱۹) و در شرایط نور کم به سمت جداره با قدم‌های کشیده و آرام حرکت کردند (۴۰). در مقابل، یک مطالعه‌ی دیگر در زمینه مسیریابی نشان داد که در شرایط نور کم، بین عملکرد افراد مبتلا به AMD و کنترل‌های با بینایی طبیعی تفاوتی وجود نداشت (۵۶). در این مطالعه، شرکت‌کنندگان مبتلا به AMD و افراد کنترل مسیر موانع چندمرحله‌ای داخلی را پیمووند. در بخشی از مسیر، نور بسیار کم بود و تنها از یک منبع تأمین می‌شد که باعث ایجاد خیرگی می‌شد. سرعت راه رفتن در بخش کم‌نور مسیر نسبت به بخش‌های با روشنایی طبیعی کاهش یافت، اما تفاوتی بین گروه AMD و گروه کنترل مشاهده نشد.

ابزارهای کمکی برای اجتناب از موانع شامل دستگاه‌های جایگزینی حسی^۳ بودند که اطلاعات بصری را به اطلاعات قابل استفاده توسط حس دیگری مانند شنوایی تبدیل می‌کنند. برای مثال، برای هشدار به کاربر در مورد برخوردهای احتمالی، فرکانس صدا با نزدیک‌تر شدن مانع افزایش می‌یابد. نتایج یک مطالعه نشان داد که دستگاه جایگزینی حسی عصای هوشمند بینایی که اطلاعات فاصله مانع را به اطلاعات شنیداری تبدیل می‌کند، می‌تواند برای شناسایی موانع با حداقل آموزش مورد استفاده قرار گیرد (۲۳). در این مطالعه، شرکت‌کنندگان با چشم‌بند در یک راهرو با موانع مختلف حرکت کردند. این موانع روی زمین قرار داشتند (مثلاً صندلی اداری، دستگاه قهوه یا یک فرد) و شرکت‌کنندگان با استفاده از عصای سفید یا عصای هوشمند بینایی از آن‌ها عبور کردند. همه شرکت‌کنندگانی که از عصای هوشمند بینایی استفاده کردند با موفقیت مسیر راهرو را پیمووند و در آخرین آزمایش نسبت به اولین آزمایش تماس کمتری با موانع داشتند. در مقابل، افرادی که از عصای سفید استفاده کردند، بهبود قابل توجهی بین آزمایش‌ها نشان ندادند و در آخرین آزمایش نسبت به کاربران عصای هوشمند بینایی تماس بیشتری با موانع داشتند (۷۰).

سایر دستگاه‌های جایگزینی حسی اطلاعات بصری، مانند فاصله موانع را به اطلاعات شنیداری و لمسی تبدیل می‌کنند. کیم و همکاران (۵۴) سیستمی را گسترش دادند که اطلاعات بصری را به اطلاعات شنیداری تبدیل می‌کند و فاصله اجسام را به ارتفاع صدا^۴ ترجمه می‌کند، به‌طوری که اجسام نزدیک‌تر، صدای با فرکانس بالاتر و اجسام دورتر صدای با فرکانس پایین‌تر ایجاد می‌کنند. این سیستم به شرکت‌کنندگان اجازه داد تا محیط اطراف خود را با موفقیت شناسایی کنند و موانع را تشخیص داده و از آن‌ها اجتناب کنند. شبات و همکاران^۵ (۷۱) سیستم مشابهی ساختند که در آن اطلاعات بصری، توسط دوربینی که روی کاربر نصب شده بود ضبط می‌شد و به پالس‌های الکترو-لمسی^۶ روی شبکه‌ای لمسی روی زبان کاربر تبدیل می‌شد. شرکت‌کنندگان با استفاده از این دستگاه توانستند با موفقیت از ماز عبور کنند و از تصادف با موانع بیشتر از حد احتمال اجتناب کنند.

دستگاه‌های مبتنی بر زبان می‌توانند توسط افراد با کاهش بینایی مرکزی برای بهتر تشخیص دادن اجسام و موانع محیطی هنگام راه رفتن، حرکت روی پله‌ها و جدول‌ها و تسهیل حرکت در نور کم استفاده شوند؛ این فعالیت‌ها توسط بیماران با کاهش بینایی مرکزی به عنوان چالش‌های حیاتی شناسایی شده‌اند. مشابه آن، دستگاه‌های مبتنی بر زبان می‌توانند به افرادی که از عصای سفید استفاده می‌کنند کمک کنند تا موانعی را که توسط افراد با کاهش بینایی مرکزی در نور کم ممکن است از دست برود، تشخیص داده و از آن اجتناب کنند. این دستگاه مبتنی بر زبان مانند سایر دستگاه‌های جایگزینی حسی عمل می‌کند، به این صورت که اطلاعات بصری محیط در حس دیگری ارائه می‌شود، در این مورد به شکل ارتعاش روی زبان پدید می‌آید. پیامد این یافته‌ها این است که افراد با کاهش بینایی مرکزی می‌توانند

1. Visual acuity
2. Contrast sensitivity
3. Sensory substitution devices
4. Pitch
5. Chebat et al
6. Electro-tactile

با استفاده از این دستگاه به موانعی که در دید محیطی نیستند، هشدار بدهند. این دستگاه جزئیات محیط را ارائه نمی‌دهد اما می‌تواند به‌عنوان سیستم هشدار برای موانع نزدیک عمل کند و به فرد کمک کند تا از آن‌ها اجتناب کند (۵۴، ۷۱). دستگاه‌های جایگزینی حسی می‌توانند راه رفتن با کاهش بینایی مرکزی را با جلب توجه به اطلاعات محیطی که از دست رفته‌اند، تسهیل کنند (۱۶). با این حال، تمامی دستگاه‌های جایگزینی حسی، بهبود در اجتناب از موانع را ایجاد نکردند. هنگامی که شرکت‌کنندگانی با بینایی کم، شامل کاهش بینایی مرکزی و محیطی، از یک گوشی اندروید استفاده کردند که در یک نمایشگر نصب‌شده روی سر قرار داشت و اطلاعات فاصله، ارتفاع و عرض را به خروجی‌های شنیداری مانند صدا و فرکانس تبدیل می‌کرد، عملکرد آن‌ها در اجتناب از برخورد با موانع و زمان انجام تکلیف کاهش یافت. همچنین، در مطالعه‌ای، یک دستگاه جایگزینی حسی جدید به عصای سفید متصل شد و از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا دو مسیر حرکتی با موانعی با ارتفاع‌ها و اندازه‌های مختلف را پیمایش کنند. معیارهای اندازه‌گیری شامل تعداد تماس با موانع، زمان طی مسیر و میزان فاصله طی‌شده بود. هیچ تفاوت معنی‌داری در عملکرد بین استفاده از عصای سفید تنها و عصای سفید همراه با دستگاه جایگزینی حسی مشاهده نشد. بنابراین، احتمال کمی وجود دارد که این دستگاه اطلاعات مفیدی در مورد محیط فراهم کند.

اگرچه تفاوت‌های قابل توجهی در توانایی اتخاذ تصمیمات ایمن عبور از خیابان بین افراد با کاهش بینایی مرکزی و گروه کنترل هم‌سن مشاهده نشد، اما تفاوت‌هایی در نحوه رفتار افراد هنگام اتخاذ این تصمیمات وجود داشت. برای مثال، شرکت‌کنندگانی با دژنراسیون ماکولای وابسته به سن یا گلوکوم در کنار جدول پیاده‌رو یک تقاطع دوطرفه یا چرخ‌راه سه شاخه ایستادند و با استفاده از ردیاب چشم یا سر حرکت خود را در طول سه مرحله عبور از خیابان شامل راه رفتن به سمت جدول، ایستادن در کنار جدول، و عبور از خیابان ثبت کردند. تفاوت‌های حرکات چشم و سر بین افراد با بینایی کم و افراد با بینایی طبیعی از جمله تعداد تثبیت‌های خیرگی، تعداد چرخش‌های سر و زمان صرف‌شده برای نگاه کردن به مکان‌های مختلف محیط اندازه‌گیری شد. صرف نظر از اینکه شرکت‌کننده مبتلا به دژنراسیون ماکولای وابسته به سن یا گلوکوم باشد، افراد هنگام نزدیک شدن به جدول روی عناصر عبور (مانند مسیر عبور پیاده و جدول) تمرکز می‌کردند و هنگام ایستادن در کنار جدول، نگاه خود را به وسایل نقلیه معطوف می‌کردند. در مقایسه با افراد با بینایی طبیعی، افراد با کاهش بینایی مرکزی مدت زمان تثبیت خیرگی طولانی‌تری بر عناصر عبور (مثلاً چراغ پیاده‌رو) داشتند. علاوه بر این، افراد با دژنراسیون ماکولای وابسته به سن حرکات سر کمتری داشتند و تعداد چرخش‌های سر برای عبور ایمن (یعنی حرکت کامل سر به راست و چپ) رعایت نکردند. به‌طور کلی، این مطالعات نشان می‌دهند که اگرچه افراد با کاهش بینایی مرکزی می‌توانند تصمیمات عبور از خیابان مشابه با گروه کنترل هم‌سن اتخاذ کنند، اما ممکن است رفتار کمتر ایمن، مانند حاشیه ایمنی کمتر به دلیل الگوهای حرکتی چشم با کارآمدی کمتر را از خود نشان دهند (۴۶، ۵۲).

چهار مطالعه رفتار خیرگی و کینماتیک راه رفتن بر مسیر مستقیم را بررسی کردند که از این میان، سه مطالعه شامل گردش به دور یک مانع نیز بود (جدول ۱). این مطالعات نشان دادند که افراد مسن‌تر محیط را به شیوه‌ای متفاوت چه از نظر استفاده از بینایی مرکزی و محیطی و چه از نظر توزیع نقاط خیرگی نسبت به افراد جوان‌تر مشاهده می‌کنند. در هنگام گردش، مشاهده شد که افراد مسن‌تر چرخش کل بدن را هم‌زمان با شروع ساکاد به سمت جهت گردش آغاز می‌کنند و سپس سر، تنه و پاها جهت‌گیری مجدد پیدا می‌کنند (۵۹). با این حال، اگر جهت گردش کمی پیش از چرخش مشخص شود، افراد مسن‌تر بازچرخش بخش‌ها را با چرخش تنه^۱ آغاز می‌کنند، سپس حرکات سریع خیرگی را انجام می‌دهند و در نهایت جابجایی‌های عرضی پاها^۲ اتفاق می‌افتد. با در نظر گرفتن خطر زمین خوردن، نشان داده شد که افراد مسن با خطر پایین سقوط، نسبت به افراد مسن با خطر بالا، بازتاب دهلیزی-چشمی^۳ کمتری دارند (۵۷). سه مطالعه، رفتار خیرگی را هنگام بالا و پایین رفتن از پله‌ها با بررسی تعامل ساکاد و حرکت پا^۴ در گروه‌های سنی مسن و جوان بررسی کردند (جدول ۱). مشاهده

1. Trunk yaw

2. Medio-lateral

3. Vestibulo-ocular reflex

4. Saccade/stepping interactions

شد که افراد مسن‌تر مدت زمان طولانی‌تری بین شروع ساکاد و شروع بلند کردن پا برای رسیدن به پله بعدی یعنی ساکاد-گام تاخیر^۱ داشتند (۶۱). همچنین، سرعت حرکت پا برای بالا رفتن روی سکوی بعدی در افراد مسن نسبت به جوان‌ترها کندتر بود، اما تاخیر ساکاد-گام مستقل از سرعت حرکت پا بود. در هنگام بالا و پایین رفتن از پله‌ها، افراد مسن در مقایسه با افراد جوان تعداد گام در دقیقه^۲ پایین‌تر و مرحله تک‌اتکایی طولانی‌تر^۳ نشان دادند. همچنین، افراد مسن مدت زمان بیشتری روی پله‌ها تثبیت خیرگی داشتند و نگاه خود را برای مدت طولانی‌تری به مسیر حرکت معطوف می‌کردند. آن‌ها به‌ندرت بیش از چهار پله جلوتر را نگاه می‌کردند، در حالی که افراد جوان معمولاً توزیع گسترده‌تری از نقاط تثبیت خیرگی داشتند. با وجود این که تعدادی از افراد مسن هنگام بالا رفتن و پایین آمدن از پله‌ها از نرده استفاده می‌کردند، اما معمولاً خیرگی خود را بر روی نرده تثبیت نمی‌کردند. افراد مسن در مقایسه با افراد جوان، مدت زمان تثبیت خیرگی بیشتری بر سطح پله داشتند؛ با این حال، هر دو گروه شرکت‌کننده بیشترین جهت‌دهی خیرگی را به سطح پله اختصاص می‌دادند و دامنه حرکات چشمی آن‌ها در راستای عمودی بیشتر از راستای افقی بود (۶۲). در شرایط روشنایی کم (تاریک)، مدت زمان تثبیت خیرگی تنها در افراد مسن افزایش یافت. با این حال، تعداد تثبیت‌های خیرگی بر پله‌های پیش‌رو در شرایط روشنایی مناسب نسبت به شرایط تاریک، هم در افراد جوان و هم در افراد مسن بیشتر بود.

همچنین مشاهده شد که افراد مسن پس از ایجاد آشفتگی، برای آغاز گام جبرانی به زمان بیشتری نیاز داشتند؛ با این حال، زمانی که یک مرجع دیداری ثابت ارائه می‌شد، حرکات گام سریع‌تری رخ می‌داد. به نظر می‌رسد نه افراد مسن و نه افراد جوان، هنگام بازیابی تعادل پس از، از دست دادن آن، به بازخورد دیداری متکی نبودند، حتی زمانی که مانعی برای اجتناب یا هدفی برای گام‌گذاری وجود داشت. در مجموع، تفاوت معناداری در رفتار خیرگی و الگوی راه رفتن افراد مسن در پاسخ به آشفتگی‌ها نسبت به افراد جوان مشاهده نشد. با این حال، در تکالیف پیچیده‌تر حرکتی، افراد مسن با معرفی یک تکلیف همزمان ردیابی دیداری^۴، افزایش حرکت جانبی مرکز جرم^۵ و کاهش دقت گام‌گذاری روی هدف را نشان دادند.

بحث و نتیجه‌گیری

مرور نظام‌مند حاضر نشان داد که تفاوت بین افراد با کاهش بینایی مرکزی (CVL) و افراد با بینایی طبیعی الزاماً در موفقیت انجام تکلیف نیست، بلکه بیشتر در راهبردهای کنترلی زیربنایی و نحوه استفاده از اطلاعات دیداری نمود پیدا می‌کند (۱۴، ۴۷، ۵۶). این یافته با چارچوب‌های نظری کنترل حرکت که نقش حیاتی بینایی در برنامه‌ریزی پیش‌بینانه و کنترل آنلاین را برجسته می‌کنند، همخوانی دارد (۹، ۱۰، ۳۵). با این حال، مقایسه مطالعات نشان می‌دهد که این تفاوت‌ها وابسته به شرایط تکلیف هستند؛ به‌طوری‌که در شرایط ساده‌تر یا با بار ادراکی پایین، عملکرد مشابهی گزارش شده است، اما در شرایط چالش‌برانگیز مانند نور کم یا وجود موانع، تفاوت‌ها بارزتر می‌شوند (۱۹، ۴۰، ۴۸). این ناهمگنی نتایج احتمالاً ناشی از تفاوت در میزان وابستگی به پردازش سریع اطلاعات دیداری-فضایی و ظرفیت کنترل پیش‌بینانه است.

از منظر مقایسه‌ای، مطالعات مختلف به‌طور سازگار نشان می‌دهند که افراد با CVL از راهبردهای جبرانی متفاوتی استفاده می‌کنند. برای مثال، کاهش دقت در راه‌رفتن دقیق در نور کم در افراد مبتلا به دژنراسیون ماکولا (۱۹) در حالی مشاهده شد که این افراد همچنان قادر به تکمیل موفق تکلیف بودند، که نشان‌دهنده استفاده از راهبردهای محافظه‌کارانه مانند کاهش سرعت یا افزایش اتکا به نشانه‌های

1. Saccade-step latency
2. Cadence
3. Single stance phase
4. Concurrent visual tracking task
5. Center of mass

محیطی است (۴۱، ۴۸). افزایش تثبیت نگاه به سمت پایین احتمالاً نشان‌دهنده یک راهبرد سازگارانه است که به منظور جبران کاهش بینایی مرکزی و استفاده حداکثری از بینایی محیطی باقی‌مانده برای تشخیص موانع اتخاذ می‌شود (۱۴). با این وجود، این الگوی رفتاری ممکن است با کاهش فراوانی اسکن محیط همراه باشد و در نتیجه، توانایی فرد در پیش‌بینی و شناسایی خطرات احتمالی پیش رو را محدود سازد (۸). همچنین، تفاوت در الگوهای خیرگی در هنگام عبور از خیابان نشان داد که اگرچه هر دو گروه قادر به عبور موفق بودند، اما افراد با کاهش بینایی مرکزی از الگوهای نمونه‌برداری دیداری متفاوتی استفاده می‌کنند (۴۳، ۴۵). این یافته‌ها با نتایج مطالعات ماتسودا و فریدمن (۷۳) همسو است که نشان دادند افراد با بینایی کم تمایل بیشتری به تمرکز بر نشانه‌های ساختاری محیط مانند لبه‌ها و خطوط دارند (۷۳، ۷۴). در مجموع، این شواهد حاکی از یک تغییر سیستماتیک از کنترل پیش‌بینانه مبتنی بر فوویا به سمت کنترل واکنشی‌تر مبتنی بر اطلاعات محیطی و چندحسی است. از دیدگاه مکانیسم‌های عصبی-حرکتی، این تغییر را می‌توان به کاهش ورودی با وضوح بالا از ناحیه فوویا نسبت داد که ناشی از تخریب سلول‌های مخروطی در بیماری‌هایی مانند دژنراسیون ماکولا است (۷۲، ۷۳). این کاهش ورودی باعث اختلال در پردازش دقیق اطلاعات دیداری در مسیرهای قشری بینایی و کاهش کارایی تعامل بین سیستم‌های بینایی و نواحی شناختی مانند قشر پیش‌پیشانی می‌شود. در نتیجه، سیستم کنترل حرکت کمتر قادر به استفاده از مدل‌های پیش‌بینانه دقیق بوده و بیشتر به بازخوردهای حسی لحظه‌ای وابسته می‌شود (۹، ۳۵). این موضوع با یافته‌هایی مانند افزایش زمان تثبیت خیرگی، تأخیر در ساکاد/گام و کاهش دقت گام‌برداری همخوانی دارد (۶۱، ۶۶). علاوه بر این، شواهد نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی چندحسی به‌عنوان یک مکانیسم جبرانی در این افراد تقویت می‌شود. به‌طور خاص، مطالعات نشان داده‌اند که تشخیص محرک‌های بصری در حضور محرک‌های شنیداری بهبود می‌یابد، که بیانگر افزایش وزن‌دهی به ورودی‌های غیر دیداری در پردازش ادراکی است (۷۵، ۷۶). این سازگاری احتمالاً در سطح شبکه‌های قشری مرتبط با توجه و ادغام چندحسی رخ می‌دهد و نقش مهمی در حفظ عملکرد عملکردی علی‌رغم کاهش بینایی مرکزی ایفا می‌کند (۲۸، ۳۱). این یافته‌ها همچنین مبنای استفاده از فناوری‌های جایگزینی حسی برای بهبود جابجایی را فراهم می‌کنند (۲۰، ۵۲، ۵۴). در مقایسه با افراد سالم مسن، الگوهای مشابهی از تغییرات رفتاری مشاهده می‌شود، هرچند شدت آن کمتر است. افزایش سن با کاهش سرعت هدایت عصبی و عملکرد عضلانی همراه است که منجر به افزایش زمان واکنش و حرکت می‌شود (۶۰). در نتیجه، بزرگسالان مسن نیز بیشتر به اطلاعات دیداری برای حفظ تعادل متکی هستند (۷) و از راهبردهای محافظه‌کارانه مانند کاهش سرعت راه‌رفتن و افزایش زمان تثبیت نگاه استفاده می‌کنند (۵۹، ۶۳). این شباهت‌ها نشان می‌دهد که CVL می‌تواند فرآیندهای مرتبط با پیری را تشدید کرده و منجر به وابستگی بیشتر به کنترل واکنشی و کاهش کارایی کنترل پیش‌بینانه شود. اگرچه اغلب مطالعات به‌طور مداوم تغییر در رفتار خیرگی و کاهش کارایی جابه‌جایی را در افراد مبتلا به کاهش بینایی مرکزی گزارش کرده‌اند، شدت این اختلالات در میان مطالعات مختلف تفاوت توجهی داشته است. یکی از دلایل احتمالی این تفاوت‌ها، اختلاف در پارادایم‌های آزمایشی مورد استفاده است. برخی مطالعات راه‌رفتن را در محیط‌های آزمایشگاهی کاملاً کنترل‌شده با موانع قابل پیش‌بینی ارزیابی کرده‌اند، در حالی که برخی دیگر از محیط‌های پویا یا دارای پیچیدگی بصری بالا استفاده کرده‌اند که مستلزم سازگاری مداوم بینایی-حرکتی بوده‌اند. بنابراین، به نظر می‌رسد ناهمخوانی‌های مشاهده‌شده میان یافته‌های مطالعات، بیش از آنکه ناشی از شواهد متناقض باشند، بازتابی از تفاوت در پیچیدگی تکلیف باشند.

یکی از یافته‌های کلیدی در این زمینه، نقش انتقال زود هنگام خیرگی است که به‌طور مداوم با کاهش دقت گام‌برداری و افزایش خطر سقوط مرتبط دانسته شده است (۶۶، ۶۸، ۶۹). از منظر عصبی-حرکتی، این پدیده احتمالاً ناشی از اختلال در هماهنگی زمانی بین سیستم‌های بینایی و حرکتی و ناتوانی در حفظ بازنمایی دیداری هدف در حافظه کاری تا تکمیل حرکت است (۶، ۶۵). این امر منجر به تغییر از کنترل پیش‌بینانه به کنترل واکنشی و افزایش وابستگی به بازخوردهای حسی لحظه‌ای می‌شود. در حالت انتقال زود هنگام خیرگی، شرکت‌کنندگان پیش از آنکه قرارگیری پا روی هدف فعلی به‌طور پایدار تکمیل شود، نگاه خود را از هدف کنونی به هدف بعدی منتقل می‌کنند. برخلاف آنچه ممکن است در نگاه نخست یک راهبرد پیش‌بینانه و سودمند تلقی شود، شواهد نشان می‌دهد که این رفتار بیشتر بیانگر یک پاسخ جبرانی ناشی از کاهش اطمینان به اطلاعات بینایی است. انتقال زود هنگام خیرگی از هدف فعلی، دسترسی فرد به بازخورد

بینایی برخط ۱ را که برای تنظیم دقیق محل قرارگیری پا ضروری است، کاهش می‌دهد و در نتیجه، نوسان گام به گام و خطاهای حرکتی هنگام راه رفتن افزایش می‌یابد. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که انتقال زود هنگام خیرگی با افزایش تغییرپذیری جانبی محل قرارگیری پا و کاهش دقت گام برداری، به ویژه در سالمندان دارای خطر بالای سقوط، همراه است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که حفظ تثبیت خیرگی بر روی هدف فعلی تا زمان تماس پاشنه پا با زمین، برای راه رفتن ایمن ضروری است؛ زیرا ضمن فراهم کردن هدایت مداوم بینایی در طول اجرای حرکت، امکان برنامه‌ریزی مناسب برای گام‌های بعدی را نیز حفظ می‌کند (۶۶).

نکته مهم دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، تمایز میان مطالعات انجام شده بر افراد مبتلا به کاهش بینایی مرکزی تشخیص داده شده از نظر بالینی و مطالعاتی است که از نقص میدان بینایی مرکزی شبیه‌سازی شده در افراد با بینایی طبیعی استفاده کرده‌اند (۱۴). مطالعات شبیه‌سازی، ابزاری ارزشمند برای بررسی پیامدهای فوری کاهش بینایی مرکزی در شرایط کنترل شده محسوب می‌شوند؛ با این حال، قادر به بازآفرینی کامل سازگاری‌های ادراکی و حرکتی بلندمدتی نیستند که در بیماران مبتلا به کاهش مزمن بینایی مرکزی ایجاد می‌شود (۴۱). افرادی که به طور مزمن دچار کاهش بینایی مرکزی هستند، معمولاً با گذشت زمان ناحیه شبکه‌ای ترجیحی و راهبردهای جبرانی حرکات چشم را توسعه می‌دهند؛ سازوکارهایی که در الگوهای کوتاه مدت شبیه‌سازی شده مشاهده نمی‌شوند (۲۳، ۲۴، ۲۵). از این رو، یافته‌های حاصل از مطالعات شبیه‌سازی شده باید هنگام تعمیم به جمعیت‌های بالینی با احتیاط تفسیر شوند. به نظر می‌رسد افزایش خطر زمین خوردن در افراد مبتلا به کاهش بینایی مرکزی تنها ناشی از کاهش حدت بینایی نباشد. بلکه این افزایش خطر احتمالاً حاصل برهم کنش عواملی همچون اختلال در هماهنگی بینایی-حرکتی، کاهش دقت ادراک عمق، تأخیر در تشخیص موانع و تغییر در الگوی تخصیص نگاه هنگام راه رفتن است. این سازوکارهای متقابل، کارایی کنترل پیش‌بینانه راه رفتن را کاهش داده و وابستگی فرد را به اصلاحات واکنشی در حین حرکت افزایش می‌دهند (۱۴، ۶۷).

در نهایت، یافته‌های مربوط به مداخلات نشان می‌دهد که آموزش‌های مبتنی بر بازخورد بصری و چندحسی می‌توانند به بهبود تعادل و راه رفتن کمک کنند (۳۶، ۷۹، ۸۲). این مداخلات از طریق تقویت پردازش اطلاعات دیداری و بهبود هماهنگی بین سیستم‌های حسی-حرکتی عمل می‌کنند (۸۱، ۸۳). با این حال، اثرات این مداخلات وابسته به ویژگی‌های تکلیف بوده و در شرایط غیرچالش برانگیز ممکن است کمتر قابل مشاهده باشند (۸۲). در مجموع، این مرور نشان می‌دهد که مشکل اصلی در کاهش بینایی مرکزی صرفاً کاهش عملکرد نیست، بلکه بازسازماندهی راهبردهای عصبی-حرکتی برای کنترل حرکت است. این یافته بر ضرورت تمرکز پژوهش‌های آینده بر دینامیک کنترل حرکت، الگوهای خیرگی و مکانیسم‌های چندحسی تأکید دارد و نشان می‌دهد که طراحی مداخلات باید بر تقویت این مکانیسم‌های جبرانی متمرکز باشد.

پی‌نوشت

حمایت مالی

این مطالعه هیچ بودجه‌ای از سازمان‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

تعارض منافع

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ تضاد منافی وجود ندارد.

بیانیه استفاده از هوش مصنوعی

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ ابزار هوش مصنوعی در تهیه، نگارش، تحلیل یا بازنگری این مقاله استفاده نشده است.

منابع

1. United Nations - Department of Economic and Social Affairs (UNDESA). World population ageing 2013 report, New York, NY. 2013
2. World Health Organization. WHO global report on falls prevention in older age, Geneva, Switzerland. 2007.
3. Aitken, L.M., Burmeister, E., Lang, J., Chaboyer, W., Richmond, T.S. Characteristics and outcomes of injured older adults after hospital admission. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2010; 58, 442-449.
4. Rantanen, M., Maki, M., Rantanen, T. Mobility decline in old age. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2013; 41, 19-25
5. Moreland, J.D., Richardson, J.A., Goldsmith, C.H., Clase, C.M. Muscle weakness and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Geriatr. Soc.* 2004; 52, 1121-1129. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2004.52310.x>
6. Holtzer, R., Friedman, R., Lipton, R.B., Katz, M., Xue, X., Verghese, J. The relationship between specific cognitive functions and falls in aging. *Neuropsychology*. 2007; 21, 540-548.
7. Franz, J.R., Francis, C.A., Allen, M.S., O'Connor, S.M., Thelen, D.G. Advanced age brings a greater reliance on visual feedback to maintain balance during walking. *Hum. Mov. Sci.* 2015; 40, 381-392. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.01.012>.
8. Uiga, L., Cheng, K.C., Wilson, M.R., Masters, R.S.W., Capio, C.M. Acquiring visual information for locomotion by older adults: a systematic review. *Ageing Res. Rev.* 2015; 20, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2014.12.005>
9. Patla, A.E. Understanding the roles of vision in the control of human locomotion. *Gait & Posture*. 1997; 5, 54-69. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(96\)01109-5](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(96)01109-5).
10. Patla, A.E. Visual control of human locomotion. In: Patla, A.E. (Ed.), *Advances in Psychology, Adaptability of Human Gait*. North-Holland. 1991; pp. 55-97. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)60738-4](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)60738-4).
11. Berg, W.P., Alessio, H.M., Mills, E.M., Tong, C. Circumstances and consequences of falls in independent community-dwelling older adults. *Age and Ageing*. 1997; 26, 261-268
12. Templer, J., Archea, J., Cohen, H.H. Study of factors associated with risk of workrelated stairway falls. *Journal of Safety Research*. 1985; 16, 183-196.
13. Coleman, A.L., Stone, K., Ewing, S.K., Nevitt, M., Cummings, S., Cauley, J.A., Ensrud, K.E., Harris, E.L., Hochberg, M.C., Mangione, C.M. Higher risk of multiple falls among elderly women who lose visual acuity. *Ophthalmology*. 2004; 111, 857-862
14. Cloutier, DeLucia. Impact of Central Vision Loss on Navigation and Obstacle Avoidance while Walking. *Journal of Safety Research*. 2022; 99(12): 890-899. [doi:10.1097/OPX.0000000000001960](https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001960)
15. Cleveland Clinic. Common Eye Diseases and Vision Problems; 2022. Available at: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/17130-eye-diseases>. Accessed November 4,
16. Taylor DJ, Hobby AE, Binns AM, Crabb DP. How Does Age-Related Macular Degeneration Affect Real-World Visual Ability and Quality Of Life? A Systematic Review. *BMJ Open*. 2016; 6:e011504.
17. Hansen, D.W., Ji, Q. In the eye of the beholder: a survey of models for eyes and gaze. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2010; 32, 478-500.
18. Vater C, Kredel R, Hossner EJ. Detecting Target Changes in Multiple Object Tracking with Peripheral Vision: More Pronounced Eccentricity Effects for Changes in Form than in Motion. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2017;43:903.

19. Alexander MS, Lajoie K, Neima DR, et al. Effect of Ambient Light and Age-Related Macular Degeneration on Precision Walking. *Optom Vis Sci.* 2014; 91:990–9.
20. Maidenbaum S, Hanassy S, Abboud S, et al. The “Eyecane”, a New Electronic Travel Aid for the Blind: Technology, Behavior & Swift Learning. *Restor Neurol Neurosci.* 2014; 32:813–24. [PubMed: 25201814]
21. Soong GP, Lovie-Kitchin JE, Brown B. Does Mobility Performance of Visually Impaired Adults Improve Immediately after Orientation and Mobility Training? *Optom Vis Sci.* 2001; 78:657–66. [PubMed: 11587200]
22. van Rheede JJ, Wilson IR, Qian RI, et al. Improving Mobility Performance in Low Vision With a Distance-Based Representation of the Visual Scene. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015; 56:4802.
23. Crossland MD, Culham LE, Kabanarou SA, Rubin GS. Preferred Retinal Locus Development In Patients With Macular Disease. *Ophthalmology.* 2005;112:1579–85. [PubMed: 16087239]
24. Crossland MD, Crabb DP, Rubin GS. Task-Specific Fixation Behavior in Macular Disease. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52:411–6.
25. Lei H, Schuchard RA. Using Two Preferred Retinal Loci for Different Lighting Conditions in Patients with Central Scotomas. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1997; 38:1812–8.
26. Freeman Paul B., Jose RT. The Art and Practice of Low Vision, 2nd ed. Baltimore, MD: Butterworth-Heinemann; 1997.
27. Bernard JB, Chung ST. Visual Acuity Is Not the Best at the Preferred Retinal Locus in People with Macular Disease. *Optom Vis Sci.* 2018;95:829–36.
28. Bach-y-Rita P, Kercel SW. Sensory Substitution and the Human-Machine Interface. *Trends Cogn Sci.* 2003;7:541–6.
29. Salimiaghdam N, Riazi-Esfahani M, Fukuhara PS, et al. Age-Related Macular Degeneration (AMD): A Review on Its Epidemiology and Risk Factors. *Open Ophthalmol J.* 2019;13:90–9.
30. Bradshaw SE, Gala S, Nanavaty M, et al. Systematic Literature Review of Treatments for Management of Complications of Ischemic Central Retinal Vein Occlusion. *BMC Ophthalmol.* 2016;16:104. [PubMed: 27401800]
31. Maniglia M, Visscher KM, Seitz AR. Perspective on Vision Science-Informed Interventions for Central Vision Loss. *Front Neurosci.* 2021;15:734970. [PubMed: 34803584]
32. Owsley C, McGwin G. Driving and Age-Related Macular Degeneration. *J Vis Impair Blind.* 2008;102:621–35.
33. Galna, B., Peters, A., Murphy, A.T., Morris, M.E. Obstacle crossing deficits in older adults: a systematic review. *Gait Posture.* 2009; 30, 270-275
34. Barbieri, F.A., Vitória, R., Santos, P.C.R.d., Gobbi, L.T.B. Systematic review of the effect of aging on the free and adaptive gait. *Revista da Educação Física/UEM.* 2013; 24, 135-143.
35. Higuchi, T. Visuomotor control of human adaptive locomotion: understanding the anticipatory nature. *Frontiers in Psychology.* 2013; 4.
36. Alhasan, H., Hood, V., Mainwaring, F. The effect of visual biofeedback on balance in elderly population: a systematic review. *Clin. Interv. Aging.* 2017; 12, 487–497. <https://doi.org/10.2147/CIA.S127023>.
37. Cano Porras, D., Siemonsma, P., Inzelberg, R., Zeilig, G., Plotnik, M. Advantages of virtual reality in the rehabilitation of balance and gait: systematic review. *Neurology.* 2018; 90, 1017–1025. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000005603>.
38. Fang, Q., Ghanouni, P., Anderson, S.E., Touchett, H., Shirley, R., Fang, F., Fang, C. Effects of exergaming on balance of healthy older adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Games Health J.* 2020; 9, 11–23. <https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0016>

39. Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ* 339. 2009; <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>.
40. Alexander MS, Lajoie K, Neima DR, et al. Effects of Age-Related Macular Degeneration and Ambient Light on Curb Negotiation. *Optom Vis Sci*. 2014;91:975–89.
41. Timmis MA, Pardhan S. Patients with Central Visual Field Loss Adopt a Cautious Gait Strategy During Tasks That Present a High Risk of Falling. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53:4120–9.
42. Hassan SE, Geruschat DR, Turano KA. Head Movements While Crossing Streets: Effect of Vision Impairment. *Optometry Vision Sci*. 2005;82:18–26
43. Geruschat DR, Hassan SE, Turano KA, et al. Gaze Behavior of the Visually Impaired During Street Crossing. *Optom Vis Sci*. 2006; 83:550–8.
44. Szlyk JP, Seiple W, Laderman DJ, et al. Measuring the Effectiveness of Bioptic Telescopes for Persons with Central Vision Loss. *J Rehabil Res Dev*. 2000;37:101–8.
45. Almutleb ES, Hassan SE. The Effect of Simulated Central Field Loss on Street-crossing Decision Making in Young Adult Pedestrians. *Optom Vis Sci*. 2020; 97:229–38.
46. O'Brien EE, Mohtar AA, Diment LE, Reynolds KJ . A Detachable Electronic Device for Use with a Long White Cane to Assist with Mobility. *Assist Technol Shelley*. 2014; 26:219–26. [PubMed: 25771607]
47. Turano KA, Geruschat DR, Baker FH. Fixation Behavior while Walking: Persons with Central Visual Field Loss. *Vision Res*. 2002; 42:2635–44.
48. Timmis MA, Scarfe AC, Pardhan S. How Does The Extent of Central Visual Field Loss Affect Adaptive Gait? *Gait Posture*. 2016; 44:55–60.
49. van Rheede JJ, Wilson IR, Qian RI, et al. Improving Mobility Performance in Low Vision With a Distance-Based Representation of the Visual Scene. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015; 56:4802.
50. Graber M, Hassan SE. The Mind Cannot Go Blind: Effects of Central Vision Loss on Judging One's Crossing Time. *Optom Vis Sci*. 2020; 97:406–15.
51. Kuyk T, Liu L, Elliott J, Fuhr P. Visual Search Training and Obstacle Avoidance in Adults with Visual Impairments. *J Vis Impair Blind*. 2010;104:215–27.
52. Neugebauer A, Rifai K, Getzlaff M, Wahl S. Navigation Aid for Blind Persons by VisualTo-Auditory Sensory Substitution: A Pilot Study. *PLoS ONE*. 2020; 15:e0237344.
53. Legge GE, Beckmann PJ, Tjan BS, et al. Indoor Navigation by People with Visual Impairment Using a Digital Sign System. *PloS ONE*. 2013; 8
54. Kim JH, Park JE, Ji IH, et al. Development of a Visual Information to Auditory Information Transformation System for Ambulation Assistance. *Technol Health Care*. 2019; 27:165–73.
55. Turano KA, Yu D, Hao L, Hicks JC. Optic-Flow and Egocentric-Direction Strategies In Walking: Central vs. Peripheral Visual Field. *Vision Res*; 2005. 45:3117–32
56. Hassan SE, Lovie-Kitchin JE, Woods RL. Vision and Mobility Performance of Subjects with Age-Related Macular Degeneration. *Optom Vis Sci* 2002;79:697–707
57. Di Fabio, R.P., Emasithi, A., Greany, J.F., Paul, S. Suppression of the vertical vestibulo-ocular reflex in older persons at risk of falling. *Acta Otolaryngologica*. 2001; 121, 707-714.
58. Itoh, N., Fukuda, T. Comparative study of eye movements in extent of central and peripheral vision and use by young and elderly walkers. *Perceptual and Motor Skills*. 2002; 94, 1283-1291
59. Paquette, M.R., Vallis, L.A. Age-related kinematic changes in late visual-cueing during obstacle circumvention. *Experimental Brain Research*. 2010; 203, 563-574.
60. Petrofsky, J.S., Bweir, S., Andal, A., Chavez, J., Crane, A., Saunders, J., Laymon, M. Joint acceleration during gait in relation to age. *European Journal of Applied Physiology*. 2004; 92, 254-262.

61. Di Fabio, R.P., Zampieri, C., Greany, J.F. Aging and saccade-stepping interactions in humans. *Neurosci. Lett.* 2003a; 339, 179-182.
62. Kasahara, S., Okabe, S., Nakazato, N., Ohno, Y. Eye movement patterns of the elderly during stair descent: Effect of illumination. *Journal of Light and Visual Environment.* 2007; 31, 134-140
63. Zietz, D., Hollands, M.A. Gaze behavior of young and older adults during stair walking. *J. Mot. Behav.* 2009; 41, 357-365.
64. Di Fabio, R.P., Greany, J.F., Zampieri, C. Saccade-stepping interactions revise the motor plan for obstacle avoidance. *Journal of Motor Behavior.* 2003b; 35, 383-397.
65. Di Fabio, R.P., Zampieri, C., Henke, J., Olson, K., Rickheim, D., Russell, M. Influence of elderly executive cognitive function on attention in the lower visual field during step initiation. *Gerontology.* 2005; 51, 94-107
66. Chapman, G.J., Hollands, M.A. Evidence for a link between changes to gaze behaviour and risk of falling in older adults during adaptive locomotion. *Gait and Posture.* 2006; 24, 288-294
67. Young, W.R., Hollands, M.A. Can telling older adults where to look reduce falls? Evidence for a causal link between inappropriate visual sampling and suboptimal stepping performance. *Experimental Brain Research.* 2010; 204, 103-113
68. Yamada, M., Tanaka, H., Mori, S., Nagai, K., Uemura, K., Tanaka, B., Aoyama, T., Ichihashi, N. Fallers choose an early transfer gaze strategy during obstacle avoidance in dual-task condition. *Aging Clinical and Experimental Research.* 2011; 23, 316-319
69. Yamada, M., Higuchi, T., Mori, S., Uemura, K., Nagai, K., Aoyama, T., Ichihashi, N. Maladaptive turning and gaze behavior induces impaired stepping on multiple footfall targets during gait in older individuals who are at high risk of falling. *Archives of Gerontology and Geriatrics.* 2012; 54, e102-e108.
70. Buchs G, Simon N, Maidenbaum S, Amedi A. Waist-Up Protection for Blind Individuals Using the Eyecane As a Primary and Secondary Mobility Aid. *Restor Neurol Neurosci.* 2017;35:225–35. [PubMed: 28157111]
71. Chebat D-R, Maidenbaum S, Amedi A. The Transfer of Non-Visual Spatial Knowledge Between Real and Virtual Mazes Via Sensory Substitution. In: 2017 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR). Montreal, QC, Canada, June 19–22, 2017. IEEE; 2017:1–7.
72. Shelley EJ, Madigan MC, Natoli R, et al. Cone Degeneration in Aging and Age-Related Macular Degeneration. *Arch Ophthalmol.* 2009;127:483–92.
73. Matsuda Y, Kawauchi A, Motooka N. 2021. Gazing Behavior Exhibited by People with Low Vision while Navigating Streets. *J Asian Archit Build Eng;* 20:414–27.
74. Freedman A, Achtemeier J, Baek Y, Legge GE. Gaze Behavior during Navigation with Reduced Acuity. *Exp Eye Res.* 2019; 183:20–8.
75. Targher S, Occelli V, Zampini M. Audiovisual Integration in Low Vision Individuals. *Neuropsychologia.* 2012;50:576–82.
76. Targher S, Micciolo R, Occelli V, Zampini M. The Role of Temporal Disparity on Audiovisual Integration in Low-Vision Individuals. *Perception.* 2017; 46:1356–70.
77. Bosse, I., Oberlander, K.D., Savelberg, H.H., Meijer, K., Bruggemann, G.P., Karamanidis, K. Dynamic stability control in younger and older adults during stair descent. *Human Movement Science.* 2012; 31, 1560-1570.
78. Winter, D.A. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait and Posture.* 1995; 3, 193-214.
79. Anson, E., Ma, L., Meetam, T., Thompson, E., Rathore, R., Dean, V., Jeka, J. Trunk motion visual feedback during walking improves dynamic balance in older adults: assessor blinded randomized controlled trial. *Gait Posture;* 2018. 62, 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.044>.

80. Lin, H.W., Bhattacharyya, N. Balance disorders in the elderly: epidemiology and functional impact. *Laryngoscope*. 2012; 122, 1858–1861. <https://doi.org/10.1002/lary.23376>.
81. Hu, M.H., Woollacott, M.H. Multisensory training of standing balance in older adults: I. Postural stability and one-leg stance balance. *J. Gerontol.* 1994; 49, M52–M61. <https://doi.org/10.1093/geronj/49.2.M52>
82. Toby C.T. Mak, Thomson W.L. Wong, Shamay S.M. Ng. Visual-related training to improve balance and walking ability in older adults: A systematic review. *Experimental Gerontology*. 2021; 156 (2021). 111-131.
83. Schwenk, M., Grewal, G.S., Honarvar, B., Schwenk, S., Mohler, J., Khalsa, D.S., Najaf, B. Interactive balance training integrating sensor-based visual feedback of movement performance: a pilot study in older adults. *J. Neuroeng. Rehab.* 2014. 11, 164. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-164>