在黑暗中导航——设计自动驾驶功能，帮助视力障碍的老年人

Lashawnda Bynum、Jay Parker、Kristy Lee、Nia Nitschke、Melanie LaFlam、Jennifer Marcussen、Jana Taleb、Aleyna Dogan、Lisa J. Molnar、Feng Zhou

年龄相关性黄斑变性是全球失明的主要原因之一，也是许多限制老年人独立驾驶的因素之一。高度自动驾驶汽车为那些因低视力而无法再驾驶的人提供了一种可能的解决方案。然而，要为这类用户打造安全、愉悦的体验，就必须解决无障碍问题，让他们在乘车过程中保持适当的情境意识和控制感。本研究采用了由五个阶段组成的以人为中心的设计流程：共情、定义、构思、原型设计和测试。我们设计了一款原型，帮助患有年龄相关性黄斑变性的老年人乘坐高度或完全自动驾驶车辆出行，同时保持必要的情境意识和控制感。最终设计的原型包括一套具有三种详细程度的语音激活导航系统，以增强情境意识；一个 360° 车载摄像头，用于检测乘客及车辆周围的物体；一个伸缩式麦克风，方便乘客在说话时被车辆识别；以及一个设置在左右前排座椅控制台侧的实体按钮，用于手动启动导航系统。

引言

由于年龄相关性黄斑变性（AMD）会影响视网膜中央部，老年人中视力障碍的发生率日益上升。AMD 是全球失明的主要原因之一（Lim et al., 2012），在美国 40 岁以上人群中的发生率为 1.5%；但在某些人口群体中，这一比例已升至 15% 以上，例如 80 岁以上的白人女性（Friedman et al., 2004）。视力障碍会限制老年人在日常生活中完成各项任务的能力，例如阅读、辨认面孔和驾驶（Owsley & McGwin, 2008）。一项针对部分 AMD 患者的调查研究发现，年龄相关性黄斑变性的严重程度与自评驾驶困难程度之间存在很强的关联（Mangione et al., 1999）。研究还发现，老年人的视力障碍与机动车碰撞事故发生率较高有关（Swain et al., 2021）。

然而，尽管驾驶车辆时会面临各种问题，视力障碍者往往仍难以完全放弃驾驶。Kim（2011）发现，只有三分之一的老年人可能会因缺乏交通选择而限制自己的活动 [5]。此外，老年人停止驾驶可能会导致健康问题，例如抑郁症（Chihuri et al., 2016）。随着可能存在视力障碍的老年人日益增多，亟需提供充足的资源，以满足他们的交通需求。

目前，传统车辆无法为视力障碍的老年人提供解决方案。自动驾驶车辆或可提供一种交通解决方案，改善不同程度视力障碍及其他残疾老年人的出行能力（Padmanaban 等人，2021）。然而，路上许多车辆仍未达到 SAE（美国汽车工程师学会）3级标准，其自动化功能仍要求驾驶员在驾驶过程中保持注意力（Ayoub 等人，2019）。即使驾驶 SAE 3级车辆，驾驶员仍须在车辆要求时接管控制感，这带来了巨大挑战（Ayoub 等人，2022），尤其是在驾驶员脱离控制回路且缺乏足够情境意识时（Avetisyan 等人，2022）。对于视力障碍的老年人而言，保持情境意识尤其困难。对于在特定地理围栏区域运行的高度自动驾驶汽车（即 SAE 4级），人们仍然难以信任车辆（Ayoub 等人，2021；Zhang 等人，2022），老年人尤其如此（Molnar 等人，2017）。

美国交通部致力于推广创新设计解决方案，帮助残疾人士（例如视力障碍者）提升出行能力，尤其是借助高度自动驾驶汽车（Padmanaban 等，2021）。因此，本文尝试通过以人为中心的设计流程，设计一款高度自动驾驶汽车（SAE 4级）原型，以提升视力障碍老年人的信任和接受度。为了解高度自动驾驶汽车如何帮助视力障碍老年人提升出行能力，本研究的目标概述如下：

1）探索并了解视力障碍老年人在传统车辆中的行为模式、用户需求和痛点；2）设计、开发并评估一款高度自动化车辆原型，以帮助解决视力障碍老年人面临的最紧迫障碍。

方法与结果

本研究遵循斯坦福大学 d.school 的以人为中心的设计流程，即共情、定义、构思、原型制作和测试（Padmanaban 等，2021）。这五个步骤构成了我们设计解决方案的基本流程。我们在部分步骤中进行了多轮迭代，以明确并完善设计挑战和原型。

共情

为了更好地了解视力障碍的老年人驾驶时的体验，我们将访谈对象锁定为

年龄在65岁及以上的视力障碍人士，作为第一轮访谈的对象。我们的目标是了解这一用户群体如何应对视力变化，完成驾驶任务。我们招募了五位参与者进行访谈。其中四位参与者在美国，另一位参与者居住在韩国。每位参与者都存在一定程度的视力障碍，这使驾驶变得更加困难（n = 4），或导致他们彻底停止驾驶（n = 1）。

在访谈中，我们旨在了解车辆在他们生活中扮演的角色、他们有哪些交通方式可供选择，以及他们如何调整驾驶行为以适应视力的变化。我们还考察了参与者使用现有高级驾驶辅助系统（ADAS）的经历，以及他们对自动驾驶汽车的总体看法。表 1 总结了访谈结果。

表 1. 访谈摘要

主题	回答摘要
车辆在日常生活中的角色	自主性和控制感； 积极参与生活，并与他人同行 条件允许时，但仍完全依赖汽车来满足日常需求
驾驶方面的问题	视力障碍； 在进行更改时分心驾驶 车辆设置或设备；
车辆	无障碍； 更加依赖听觉提示来弥补视力丧失
随着视力变化而调整驾驶方式已更改	改变驾驶行为（避免在夜间驾驶，只走熟悉路线）； 依靠视力辅助工具（眼镜或双光眼镜）； 通过身体调整、眯起眼睛或改变在车辆中的位置，以便更好地看清周围环境
如果仍然开车会让你停下来吗?	认知和身体机能衰退； 视力衰退 ； 社会压力，要求停止； 其他交通方式变得便捷
对.....的体验语音控制	容易分散注意力且不准确； 依赖外部应用程序/设备而不是车载应用程序/设备
使用体验ADAS	通过回避来获得控制感； 安全顾虑 ； 如果针对特定用户设计，可能会很有用
了解新技术	类型 回避； 实践学习或面对面指导（经销商店）； 自助服务/互联网/手册； 听觉学习与反馈

所有参与者都认为车辆在生活中不可或缺，并表示自己在家以外仍然过着积极的生活，经常需要出行，有时还要长途出行，去探望家人、参加聚会和活动，或去工作。一个普遍的主题是，人们渴望车辆出行带来的“自主性”，以及在车内拥有“车辆控制权”。对自主性的渴望似乎对美国参与者尤其重要，他们指出，没有车辆的话，自己哪儿也去不了（“没有我的车，我就没法去看医生、去杂货店和药店，也无法探望家人或朋友”）。对控制感的渴望表明，参与者信任自己的驾驶能力，并对自动化功能心存疑虑；尤其是在询问他们对高级驾驶辅助系统的看法时（“我开车技术不错。我喜欢掌控一切.....我会把很多[高级驾驶辅助系统的功能]关掉，因为它们让我心烦”）。

所有参与者都意识到，在视力损失程度不同的情况下驾驶会带来这些问题。其中四名参与者白天仍然能够驾驶，但他们抱怨说，在车辆中调整设置对他们而言很困难或容易分散注意力；在不熟悉的周围环境中驾驶时，他们还必须依靠听觉提示来获取方向。他们还表示，自己会使用某种形式的矫正镜片来辅助视力（矫正镜片、双光眼镜），以此作为调整驾驶行为的一部分。一名参与者说道：“我使用矫正镜片，让视力达到最佳状态，但我仍然发现夜间驾驶很困难。”除了佩戴眼镜，他们还会进行行为上的调整（例如改变身体位置、眯起眼睛）：“我会在夜间降低车速，这样就不会离物体太近，尤其是左侧的物体”。尽管这四名参与者都尽力继续驾驶，但他们表示，如果视力进一步衰退，或出现其他认知和身体机能衰退，以及面临家庭压力，他们就会停止驾驶。一名参与者因视力障碍不得不放弃驾驶，并希望通过使用不同类型的交通方式来提高无障碍程度。

我们还希望了解他们使用车辆自动化功能的体验，以及他们对自动驾驶汽车的态度。参与者担心高级驾驶辅助系统的安全性，为了获得控制感，他们会避免使用这些功能。他们还不得不依赖外部语音控制来减少不准确的情况（“我确实需要车里有些设备，[而且我会对语音控制说]比如告诉我怎么去某个地方，或者帮我打电话给某人，但我觉得它从来没能理解我的意思。所以我就想，好吧，这太让人沮丧了，我要把它关掉。”）。他们对自动驾驶汽车的信任度也很低（“[我]绝不会买自动驾驶车辆！.....我从来没坐过.....”，“除非这种车辆能够证明自己足够安全，而且我仍能掌控它，否则我会不愿意乘坐。”）。参与者觉得，相比目前甚至未来用于帮助他们的技术，他们更能掌控车辆。

当被问及他们如何尝试学习使用车辆功能时，大多数参与者都是实践型学习者，更喜欢通过亲自使用某项功能来了解它的运作方式：“我会坐下来读一读，然后坐进车里，自己实际操作一遍。”。虽然一开始大家对车内的语音控制反馈不太积极，但许多参与者表示，听觉提示会有助于他们学习，就像 GPS导航应用（例如 Google 地图）一样：“我通过导航声音知道自己已经到达目的地。它告诉我已经到了，我就知道自己到了。”。

定义

从访谈中可以看出，对老年人而言，自主性和控制感在交通方式方面十分重要。因此，我们重新定义了设计挑战，着重为视力障碍逐渐加重、可能因此无法再驾驶的人们营造自主感和控制感。为了更清楚地定义并共情目标受众，我们创建了一个名为 Kelly Smith 的用户角色。她被诊断出患有年龄相关性黄斑变性后，不得不结束长达 40 年的驾驶生涯。Kelly 希望能重新享受独自驾驶的乐趣与轻松感，因为有时她觉得自己成了家人的负担，而家人不得不开车载她出行。

考虑到凯莉的情况，我们重点关注高度自动化（即 SAE 4级）的自动驾驶车辆，因为凯莉已无法驾驶。在这种车辆中，凯莉无需在任何时候驾驶，车辆在地理围栏区域内的所有情况下都能自动驾驶。这意味着我们的设计方案应帮助用户在车内建立控制感，即使用户不需要方向盘、油门踏板或制动踏板。

我们根据用户角色构建了一个凯莉乘坐自动驾驶车辆时通常会遇到的场景，以帮助激发创意。该场景重点关注车辆的启动和导航功能，因为这些是初步访谈中经常提及的方面。

1）凯莉准备去拜访一位新朋友。她在导盲犬的帮助下找到并进入自己的车辆。2）凯莉上车后，希望确认车辆知道她和导盲犬都在车内。3）凯莉想告诉车辆她要去的目的地，以及希望选择哪条路线。她不太愿意走高速公路，因此选择了本地路线。4）她还想在车辆出发前确认一切都已准备妥当。她担心车辆的电池电量或燃料可能不足以完成行程，因此希望车辆能让她安心。5）车辆行驶途中，凯莉发现自己有些焦虑，因为她不熟悉这条路线，希望能随时了解自己所在的位置以及接下来每一步的详细信息。

构思

有了这个场景作为参考，我们使用疯狂八法集思广益，构思设计方案。总共用时八分钟，我们每人设计了八个方案，平均每个方案约用一分钟。然后，我们各自从设计中选出最喜欢的方案，向小组展示，作为应对设计挑战的可能解决方案。可能的设计方案包括：

1) 训练导盲犬操作车辆内的控制按钮。2) 提供全天候热线电话，协助驾驶员解答问题。3) 车辆即将转弯时，通过振动座椅提醒用户。4) 在仪表板上设置按钮，用于启动导航。5) 详细的语音导航系统。6) 展示车辆外部地形的三维模型，供用户“触摸”感知。7) 在仪表板上显示热力图，呈现车辆周围的交通状况。8) 启动后显示车辆设置检查清单。9) 在挡风玻璃上显示放大的地图，呈现车辆的完整路线。10) 通过闪烁的灯光与驾驶员沟通。11) 使用不同的音效与驾驶员沟通。

每位团队成员都有机会展示自己的想法后，我们共同投票选出希望纳入原型的方案。得票最多的想法是：1）在仪表板上设置一个按钮，用于开启导航（以防车辆无法通过语音激活开启导航）；2）车辆设置检查清单；3）详细的语音导航系统。

原型与测试

表2. 场景示例和语音提示

场景	语音提示
场景 1：这是你自从停止驾驶后，第一次坐在方向盘前，已经过去 3 年了。这新款车辆设计为可完全通过语音命令控制。如何您会开始吗？启动车辆？	欢迎乘坐马自达 CX-60！在完全控制感模式下，我是 Jay，由我来为你驾驶。我是你的私人司机。告诉我你想去哪里，我就会带你到那里。
场景 2：车辆启动并现在将开始检查清单向你询问各种问题，然后你就可以起飞。播放车辆语音命令以参与者。	摄像头已开启，我正在扫描您的周围环境。我看到您现在在车辆中。启程前，我们先完成一份准备检查清单。 第 1 项，共 3 项：电池电量为 100%，所以您可以摘下来了。 第 2 项，共 3 项：我们正在为您系上安全带，您觉得舒服吗？[用户回应] 第 3 项，共 3 项：您想打开收音机和空调吗？[用户回应] 检查清单已全部完成。现在让我们设置您的导航级别。在车辆进行任何移动之前，我会先说明它的操作。详细程度分为两个级别。请选择您最感到舒适的级别。[用户回应]

我们采用迭代过程测试原型，并结合半结构化用户访谈和绿野仙踪法，从用户那里获取经验。在绿野仙踪法中，参与者与一个他们认为是自动化的系统互动，但实际上该系统由一名人工操作员控制（Ayoub 等人，2020）。我们设计了五个场景和语音提示，以便参与者在与自动驾驶车辆互动时获得最佳体验。我们朗读这些场景，并播放预录语音

提示。为了测试原型，我们设计了五个场景，每个场景都包含一项参与者需要完成的任务，包括：1）提示参与者通过语音指令启动车辆；2）车辆检查清单：车辆诊断、安全带、车厢环境调节（空调、收音机、座椅调节），并提示参与者选择导航详细程度：基本或详细；3）提示参与者提供目的地并选择路线，同时提示其接受路线或浏览其他路线选项；4）告知用户行程开始及车辆将要采取的动作（即驶出停车位）；4）告知用户导航行驶动作，并提示用户在途中是否需要采取任何行动（即红灯时右转、选择绕行路线）。我们还在表2中展示了与这些任务对应的示例场景和语音提示。

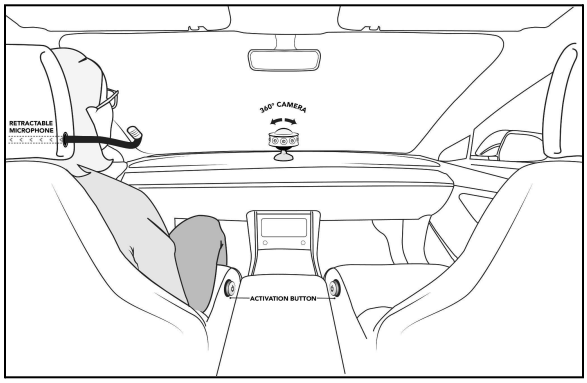
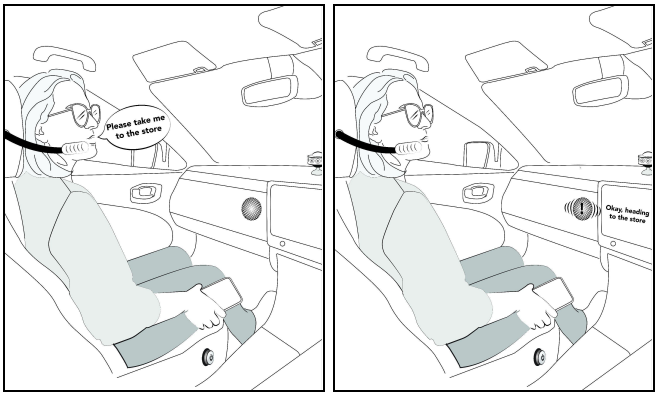


图1. 初始原型的车辆内部示意图

我们招募了四名65岁以上且存在一定程度视力障碍的参与者，来测试我们根据图1草图制作的低保真原型。该原型包括一个语音激活导航系统，可提供两种不同详细程度的导航信息；一个用于监控车辆内情况的车载摄像头；一个伸缩式麦克风，方便用户被识别并控制车辆；以及安装在前排座椅左右两侧控制台侧的实体按钮，用于手动启动自动驾驶系统。

我们介绍了图1所示的车辆内部整体布局。参与者喜欢检查清单，也喜欢驾驶过程中导航信息可提供的细节。他们还喜欢座椅侧面的按钮位置，因为伸手即可触及（见图1）。一名参与者曾中风，导致身体左侧出现身体障碍。他指出，最好在两个座椅上都设置按钮，让参与者可以选择坐在更能满足其行动不便需求的一侧。

随后，我们运用绿野仙踪法，让参与者置身于不同场景中完成所有任务。所有参与者都表示，车辆起步前的检查清单让他们感到准备充分。其中一位说：“一开始的检查清单让人感觉特别安心，没有任何多余的内容”；另一位则说：“起步前的检查清单很好，尤其是启动车辆的详细说明”。语音说明的详细程度也让参与者感到安心：“我喜欢行驶过程中一路上的语音讲解。如果听不到，你就不知道汽车掌握了什么信息。我觉得这种安心感很好”。



(a) (b)

图2。用户通过语音命令与车辆交互的示意图：(a) 用户发出的语音指令，(b) 车辆的响应

尽管参与者出发前都了解周围环境，但有两位参与者担心车辆行驶过程中缺乏情境意识。一位参与者担心车辆行驶时自己无法控制车辆：“如果车开得太快，你能让它慢下来吗？”另一位参与者希望确认车辆能够区分无生命物体和行人：“目前，自动驾驶汽车的传感器无法区分人和物体……希望不久的将来能够解决这个问题”。此外，两位参与者喜欢语音导航系统提供的详细信息，但其他人则不然。一位参与者说：“我觉得讲得太啰嗦了……你只想赶到目的地”。

根据参与者的反馈，我们完善了原型。首先，我们加入了一个传感器系统，以便在车辆行驶时，当前方有行人或物体时提醒乘客，从而回应他们对周围情况感知的担忧（见图3）。其次，我们新增了一个导航级别，其细节比之前的两个级别都更少（如表3所示）。第三，我们更改了导航级别的命名方式，以减轻乘客记住每个级别所代表内容的认知负担。随后，我们向参与者展示了完善后的原型，并提供了修订后的任务；他们的满意度大幅提升。

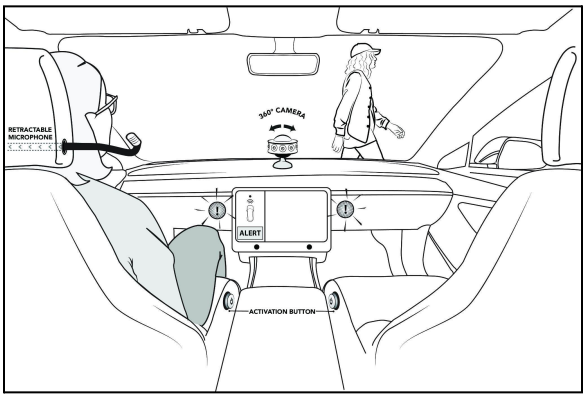


图3。车辆内部增强型传感器系统示意图

表3. 测试后对详细程度所做的更改

场景	语音提示
限制	路线变化信息
基本	危险、天气状况、限速，一些车辆行为信息
详细	道路类型、限速、急刹车和加速，天气状况、迎面驶来的应急车辆，警察、危险/施工、详细车辆行为信息。

讨论与结论

本研究旨在设计一种解决方案，帮助视力障碍的老年驾驶员在自动驾驶汽车中导航时增强控制感和自主性，从而感到更加舒适。通过以人为中心的设计流程，我们深入了解了目标用户群体的需求和偏好，并通过迭代改进设计，使其更好地满足他们的需求。

通过共情阶段，我们确定了视力障碍的老年人在驾驶方面的主要行为模式、痛点和需求。尽管自动驾驶汽车有望提升他们的出行能力和独立性，但如果缺乏控制感，以及对驾驶过程中整体情境意识的了解，老年人便不愿信任自动驾驶汽车。基于这些发现，我们定义了设计挑战，并通过疯狂八分钟构思相应的创意。我们提出使用语音提示，在驾驶过程中提供情境意识，以增强控制感和自主性。通过绿野仙踪法测试这一创意后，我们发现，额外的细节未必能提升情境意识，而简单、准确的信息却可以。用户表示，希望车辆系统主要针对环境中的重要变化或他们可以选择采取应对措施的交通事件提供反馈。他们对车辆持续播报导航操作的反应则较为冷淡。我们还发现，允许参与者根据自身偏好定制乘车体验，可以增强他们的控制感，并提升他们对车辆的舒适感和信任，例如允许他们调取预设设置，以缩短启动车辆系统并开始行程所需的时间；配备传感器，提醒乘客车辆周围的物体和行人；以及提供选择偏好路线的选项。

不过，我们的研究也存在局限性。受时间限制，我们未能在规模更大、构成更多元的参与者群体中测试原型。此外，在共情和测试阶段，并非所有参与者的视力障碍都严重到无法驾驶。在测试阶段，为了借助绿野仙踪法更好地模拟场景，我们设法遮住了他们的眼睛。此外，我们采用的测试场景几乎不涉及驾驶，因此尚不清楚原型在更复杂的现实场景中表现如何。其他局限性还包括缺乏高度自动驾驶汽车，因为目前消费者还无法购买这类汽车。

这些局限性表明，该领域需要开展更多研究，重点在更多场景中，针对规模更大、构成更多元的参与者样本，测试设计原型的有效性。也可以开展进一步研究，探索面向视力障碍的老年人的其他潜在设计方案。归根结底，我们的目标是打造无障碍、易于使用的技术，帮助改善患有年龄相关性黄斑变性及其他视力障碍的老年人的生活，并使他们能够保持独立性和出行能力。

参考文献

Avetisyan, L., Ayoub, J., & Zhou, F. (2022). 探究有条件自动驾驶和高度自动化驾驶中的解释：情境意识与模态的影响。载于《交通研究*F*辑：交通心理学与行为》（第89卷，第456–466页）。Ayoub, J., Avetisyan, L., Makki, M., & Zhou, F. (2022). 对驾驶员在有条件自动驾驶中的动态情境信任进行研究。《*IEEE*人机系统汇刊》，*52*（3），501–511。Ayoub, J., Mason, B., Morse, K., Kirchner, A., Tumanyan, N., & Zhou, F. (2020). Otto：面向家长和儿童的自动驾驶校车系统。*2020*年计算机系统中的人为因素会议扩展摘要，1–7。Ayoub, J., Yang, X. J., & Zhou, F. (2021). 利用可预测性与可解释性，对自动化车辆中的倾向性信任与初始习得信任进行建模。《交通研究*F*辑：交通心理学与行为》，*77*，102 116– 。Ayoub, J., Zhou, F., Bao, S., & Yang, X. J. (2019). 从手动驾驶到自动驾驶：汽车用户界面十年回顾。第*11*届汽车用户界面与交互式车载应用国际会议论文集，70–90。Chihuri, S., Mielenz, T. J., DiMaggio, C. J., Betz, M. E., DiGuiseppi, C., Jones, V. C., & Li, G. (2016). 老年人停止驾驶与健康结局。载于《美国老年医学会杂志》（第64卷，第2期，第332–341页）。https://doi.org/10.1111/jgs.13931 Friedman, D. S., O'Colmain, B. J., Muñoz, B., Tomany, S. C., McCarty, C., de Jong, P. T. V. M., Nemesure, B., Mitchell, P., Kempen, J., & 眼病患病率研究组. (2004). 美国年龄相关性黄斑变性的患病率。《眼科学档案》，*122*（4），564–572。Kim, S. (2011). 评估老龄化社会中的出行能力：美国老年人主观交通出行不足相关的个人因素与建成环境因素。载于《交通研究*F*辑：交通心理学与行为》（第14卷，第5期，第422–429页）。Lim, L. S., Mitchell, P., Seddon, J. M., Holz, F. G., & Wong, T. Y. (2012). 年龄相关性黄斑变性。《柳叶刀》，*379*（9827），1728–1738。Mangione, C. M., Gutierrez, P. R., Lowe, G., Orav, E. J., & Seddon, J. M. (1999). 年龄相关性黄斑病变对视觉功能与健康相关生活质量的影响。《美国眼科学杂志》，*128*（1），45–53。Molnar, L. J., Pradhan, A. K., Eby, D. W., Ryan, L. H., & Bingham, C. (2017). 与自动化车辆相关的老年驾驶员与年轻驾驶员行为差异。《老龄化创新》，*1*（补编_1），1194–1194。Owsley, C., & McGwin, G., Jr. (2008). 驾驶与年龄相关性黄斑变性。《视力障碍与失明杂志》，*102*（10），621–635。Pad manaban, G., Jachim, N. P., Shandi, H., Avetisyan, L., Smith, G., Hammoud, H., & Zhou, F. (2021). 面向自闭症谱系障碍人士及其照护者的专用自动驾驶系统车辆。载于第*13*届汽车用户界面与交互式车载应用国际会议。https://doi.org/10.1145/3473682.3480282 Swain, T. A., McGwin, G., Jr, Wood, J. M., Antin, J. F., & Owsley, C. (2021). 自然驾驶技术及视觉风险因素与视力障碍老年驾驶员责任事故和近乎碰撞之间的关联。《美国医学会杂志·眼科学》，*139*（6），639–645。Zhang, Y., Yang, X. J., & Zhou, F. (2022). 使用自然语言处理流程提取脱离自动驾驶的原因及因果关系。*IEEE*智能交通系统汇刊，*23*（11），21430–21439。