

Binocular Depth Perception in Psychological and Clinical Studies

Yu'e Yao, Xiao Liang, Jingjing Zhao

School of Psychology, Shaanxi Normal University and Key Laboratory for Behavior and Cognitive Neuroscience of Shaanxi Province, Xi'an Shaanxi
Email: jingjing.zhao@snnu.edu.cn

Received: Nov. 19th, 2018; accepted: Nov. 30th, 2018; published: Dec. 7th, 2018

Abstract

Binocular depth perception, which is also named as stereopsis or spatial vision, is an advanced visual function based on binocularity disparities. Stereopsis is developed well about 7 - 9 years old. Recently, an increasing number of researches begin to study stereopsis in psychology, especially its deficit in some neuropsychiatric diseases. However, systematic reviews on this topic are still missing in the field. This paper focuses on the study of binocular depth perception in psychological and clinical studies, including the cognition, genetic and neural mechanism of binocular depth perception and the deficits of binocular depth perception in neuropsychiatric disease. We also discussed future directions of binocular depth perception research.

Keywords

Binocular Depth Perception, Stereopsis, Gene, Visual Pathway, Diseases

双眼深度知觉的心理和临床研究

姚玉娥, 梁 潇, 赵晶晶

陕西师范大学心理学院暨陕西省行为与认知神经科学重点实验室, 陕西 西安
Email: jingjing.zhao@snnu.edu.cn

收稿日期: 2018年11月19日; 录用日期: 2018年11月30日; 发布日期: 2018年12月7日

摘 要

双眼深度知觉(Binocular Depth Perception)也称为立体视觉(Stereopsis)或空间视觉(Spatial Vision),

它是基于双眼视差线索而形成的高级视觉功能。一般认为双眼深度知觉在7~9岁的时候已经发展成熟。近年来双眼深度知觉的心理学研究又逐渐引起关注，特别是一些神经和精神类疾病中双眼深度知觉缺陷的研究。但目前国内外尚无文章系统综述与双眼深度知觉相关的心理学研究。本文从双眼深度知觉的认知机制、遗传机制、神经机制以及神经精神疾病研究等方面系统论述双眼深度知觉的心理和临床研究，并提出相应的思考和未来的发展方向。

关键词

双眼深度知觉，立体视觉，基因，视觉通路，疾病

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人类日常活动中 80%的信息都是依靠视觉从外部世界获取，例如开车、打球以及观看 3D 电影等，而这些活动都离不开双眼深度知觉(立体视觉)的参与。1838 年，Wheatstone 首次正式提出双眼深度知觉的概念并发明了双眼立体镜(Wheatstone, 1838)。Julesz 在上世纪六十年代创造了计算机随机点立体图来进一步研究双眼深度知觉的机制(Julesz, 1960)。从上世纪八九十年代，更多的研究开始关注双眼深度知觉的神经生理学机制(Bishop & Pettigrew, 1986)。这些研究共同奠定了双眼深度知觉的心理学和神经学的理论基础。近十年来，双眼深度知觉逐渐引起包括心理学、神经生物学、医学等领域研究者的广泛关注。本文着重从心理学和临床研究的角度综述双眼深度知觉的相关研究。

2. 双眼深度知觉的基本介绍

2.1. 双眼深度知觉的形成和发展轨迹

双眼深度知觉的产生主要基于双眼视差(Binocular Disparities)。人类双眼之间的距离大概是 6.5 cm，这会导致在注视物体或者场景的时候存在一定的视觉差异，形成双眼视差(Pfautz, 2002)。双眼深度知觉并不是一个“全或无”的现象，Richards (1970)的研究发现在人群中缺少双眼立体视觉的概率是 2.9%。也有研究表明，在正常人群中确实有部分被试难以达到正常成年人 40 秒角的水平(Julesz, 1986)。

早在 1910 年，研究者就发现双眼深度知觉是天生的能力，之后的很多研究也支持这一结论(Gibson & Walk, 1960; Fox, Dumais, Aslin, Shea, & Dumais, 1980)。但是 Hubel 和 Wiesel (1965)的电生理研究表明环境会导致双眼功能的异常，这证明后天环境也会影响双眼深度知觉的发展。此外，双眼深度知觉也会受到单眼视力、刺激持续时间、绝对距离和视野大小的影响，双眼深度知觉能力也可以通过训练干预得到提高。

双眼深度知觉在人的一生发展中会随着年龄发生变化，一般来说在个体 7~9 岁的时候双眼深度知觉会发展成熟，并一直持续到 65 岁左右开始逐渐下降(Simons, 1981; Mittenberg, Malloy, Petrick, & Knee, 1994)。Freud 和 Behrmann (2017)在 4~86 岁的人群中的研究发现，4 岁到 6 岁半的儿童无法从 2D 的图片中提取出精细的深度描述，但是 7 岁之后的孩子可以很好的完成该任务。同时虽然随着年龄增长，年长者整体的知觉能力有所下降，但是他们依然存在着对 3D 结构信息的敏感度。

2.2. 双眼深度知觉的测量方法

个体双眼深度知觉的能力一般用视敏度(Stereoacuity)来评估。视敏度是指水平视网膜视差能引起相对深度感觉的最小量,以弧秒为单位(Poggio & Poggio, 1984)。目前对于双眼深度知觉的视敏度值没有一个固定统一的标准,视敏度数值会因为使用不同类型的测验而有所不同(Sharma, 2017)。目前,比较常用的三种测量方法分别是近距离测量法、远距离测量法以及新开发的计算机测量法。

近距离测量法以 Bela Julesz 于 1960 年发明的随机立点图(Random dot stereograms)为代表,其立体视敏度的测量范围是 400"~20"。同样原理的测验还有 Stereo Fly 测验、Frisby Stereo 测验、Lang Stereo 测验、TNO Stereo 测验和国内的颜氏立体测试卡等。这些测验的不同之处是双眼立体视觉测量的范围值会有所差异,共同特点是需要个体佩戴偏光眼镜或者红绿眼镜来测量双眼深度知觉的视敏度。这些经典的测验被广泛应用于各项科学研究和临床诊断中。

远距离测量法以 Howard-Dolman 双钉装置测验为代表,其要求被试测验的距离是 6 米左右(Sharma & Kumari, 2017)。同类的测量方法还有同视机测量、计算机中远立体视测验等。基于双钉装置的原理,Manuel Rodríguez-Vallejo 等设计出适合在 iPad 显示的 Tablet Stereo Test (TST),TST 可接纳被试测验的距离是 0.5 米到 3 米(Rodríguez-Vallejo, Ferrando, Montagud, Monsoriu, & Furlan, 2017)。

新开发的计算机测量法以 Asteroid (Accurate STEReotest On a mobile Device)测验为代表。O'Connor 和 Tidbury (2018)认为传统纸版测量的视差层次差异较大,这会导致对立体视敏度的变化不敏感。而 Asteroid 测验解决了现在临床测验存在的问题,它包括更加复杂的视觉功能测量,并可以通过相机自动监测被试距离来相应调整角度(Serrano-Pedraza, Vancleef, & Read, 2016)。

3. 双眼深度知觉的认知机制研究

双眼深度知觉与人类的认知密切相关。双眼深度知觉能力会影响个体在执行与认知相关任务的效果,例如视觉记忆、视觉注意等任务。Xu 和 Nakayama 对 12 名拥有正常的双眼深度知觉的被试使用标准变化觉察范式(Standard Change Detection Paradigm)的研究发现,将彩色物体放置在 3D 表面环境中,视觉短时记忆(Visual Short-term Memory, VSTM)可以保存更多的物体信息,这表明具有双眼深度知觉可以更好的帮助视觉记忆的存储(Xu & Nakayama, 2007)。Zohar (2015)通过将字母和物体放置在 2D 和 3D 条件的任务中比较 21 名被试在有无立体效果情况下的视觉短时记忆,结果发现,立体 3D 条件下被试具有更好的视觉短时记忆能力。Plourde 等人(2017)对 60 名三个不同年龄阶段的被试,测试三维条件和二维条件下的视觉注意多目标追踪任务 (Multiple-Object Tracking, MOT),结果发现双眼深度知觉有助于儿童和成人更好的完成三维多目标追踪任务,但是在老年组并没有发现双眼深度知觉的优势。这表明随着年龄增长,双眼深度知觉能力也在一定程度有所下降。

同时,双眼深度知觉能力可以经过认知训练得到有效的提升。Ding 和 Levi 对 9 名被试使用立体光栅进行了深度知觉学习,研究发现 5 名最初是立体视盲和有立体视觉缺陷的被试经过训练之后,异常的双眼立体视觉可以得到恢复,并且被试报告可以体验 3D 电影的乐趣(Ding & Levi, 2011)。

4. 双眼深度知觉的脑机制研究

4.1. 双眼深度知觉的视觉通路

对于双眼深度知觉的大脑加工机制,即大脑如何通过二维的视觉线索最终形成三维的深度知觉,目前在神经机制的研究领域已经有一些重大的发现。Poggio 等人分析了 244 个对随机立点图进行反应的双眼皮层神经元,发现有 230 个神经元细胞都是位于初级视觉皮层(Primary Visual Cortex, V1),这表明 V1

参与了双眼深度知觉的早期加工(Poggio, Gonzalez, & Krause, 1988; Poggio, 1985; Poggio et al., 1985)。同时随机动态点图测验的功能磁共振成像(Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)研究发现, 第二视区(V2)和第三视区(V3)也参与早期的双眼立体视觉加工, 并且部分视觉脑区所处的背侧-大细胞通路和腹侧-小细胞通路也与双眼深度知觉密切相关(Nishida et al., 2001; Tsao et al., 2003)。

背侧-大细胞通路主要参与物体的空间位置信息以及相关的运动, 负责加工快速、低空间频率的灰度信息, 也承载着立体视觉和深度知觉加工的任务, 它包括 V5/MT、V7、内侧上颞区(MST)、顶内沟(IPS)各个大脑区域(Livingstone & Hubel, 1987; Neri, 2005; 王小琴, 谢青, 2014)。参与视觉的通路主要是腹侧通路和背侧通路, 而有研究通过持续闪烁抑制范式(Continuous Flash Suppression, CFS)来抑制腹侧通路的功能, 直接证明了感知 3D 物体结构的主要是背侧通路(Freud, Robinson, & Behrmann, 2018)。

腹侧-小细胞通路对于物体的形状和颜色更加敏感, 参与物体的客观细节的辨别, 主要由 V4、V8、颞下回皮层(IT)各区组成。研究表明, 位于腹侧通路的 V4 区、颞下回皮层(IT)参与双眼深度知觉的形成, 这说明腹侧通路在双眼深度知觉的形成中也发挥着一定作用(Hegd , & Van Essen, 2005; Tanabe, Doi, Umeda, & Fujita, 2005)。

4.2. 双眼深度知觉的脑电研究

双眼深度知觉的产生是大脑皮层的众多区域协调合作的结果(Lee & Lee, 2015)。研究者通过对 30 名被试进行立体视随机动态点图的脑电(Electroencephalogram, EEG)研究, 使用低分辨率电磁层析成像分析方法(Low Resolution Electromagnetic Tomography, LORETA)发现, 顶叶皮层的 BA7 区域和枕叶皮层的 BA19 区域在双眼深度知觉中都发挥着关键作用。在对立体图像进行立体感知时, 位于左侧顶叶区域和双侧皮层前部区域的 α 波段活动能力同时下降(Fischmeister & Bauer, 2006; Fazlyyyakhmatov, Zvezdochkina, & Antipov, 2018)。

5. 双眼深度知觉的遗传机制研究

目前对于双眼深度知觉的遗传研究比较少, 仅有几项研究揭示了与双眼深度知觉相关的 RNA 位点以及单核苷酸多态性(Single Nucleotide Polymorphism, SNPs)位点。

Bosten 对 998 人进行了立体视敏度的全基因组关联研究(Genome-wide Association Study, GWAS), 结果发现基因 VTI1A 中的变体 rs1022907 与自动立体图加工有关, 而 rs4533756 是与 TNO Stereo 测验的双眼立体视敏度相关, 同时 rs17245550, rs268335, rs7871296, rs10491944, rs4702797 也与平均视敏度相关(Bosten et al., 2015)。

Mazziotti 等人(2017)通过对于小鼠的视觉悬崖实验表明微型 RNA-132/212 突变或缺失会引起双眼匹配和深度知觉的发展受损。同时研究指出, 包括孤独症在内的许多神经发育障碍与神经元连接性和突触可塑性的改变有关, 结果证明微型 RNA-132 失调和微型 RNA-132 靶基因的异常表达可能是这些疾病中存在的一些病理学特征。因此, 微型 RNA-132/212 表达的调节策略可能为这些严重异常的疾病提供了一种新的治疗方法。

6. 双眼深度知觉在临床研究中的应用

6.1. 神经发育障碍的双眼深度知觉缺陷研究

神经发育障碍是一组在发育阶段产生的疾病, 通常在发育早期或学龄前出现。研究发现神经发育障碍中自闭症谱系障碍(Autism Spectrum Disorder, ASD)和发展性阅读障碍(Developmental Dyslexia, DD)患者中可能存在着双眼深度知觉的缺陷。

Kaplan (2005)的研究发现在自闭症谱系障碍患者中,他们会误判人与人之间的相互距离,并且在完成捡球任务的时候具有困难。同时在自闭症人群中患有斜视的可能性很高,而斜视正是影响双眼深度知觉的重要因素之一(Kaplan, Rimland, & Edelson, 1999; Little, 2018)。Milne 等人用 Frisby Stereo 测试测验发现在 37 个自闭症患者的立体视敏度难以达到正常成年人 40 秒角的水平(Milne, Griffiths, Buckley, & Scope, 2009)。也有研究使用 Titmus 测试发现 44 个 ASD 被试中只有 25%的人可以达到正常成人水平的 40 秒角,其他 ASD 患者因为斜视,弱视等眼科疾病难以完成立体视觉测验。这表明在 ASD 患者确实存在双眼深度知觉的缺陷(Black, McCarus, Collins, & Jensen, 2013)。但 Liévanos 等人(2012)通过 Kay picture 测验对 ASD 患者和控制组的研究发现在自闭症患者群体中视敏度并没有缺陷。

此外,在与阅读群体的相关研究中,研究者进行了一项大型横断面的研究(Cross-sectional Study),测试 5~7 岁的幼儿园和一年级的正常儿童的阅读能力,发现在正常儿童中,双眼立体视敏度可以预测阅读测验的表现(Niechwiej-Szwedo, Alramis, & Christian, 2017)。但是,在阅读障碍患者中,Wahlberg-Ramsay 等人(2012)的研究并没有发现双眼深度知觉与阅读障碍患者之间存在联系。Evans 等人(1994)采用 Titmus Circles 测验测试 39 名 7~12 岁阅读障碍儿童和 42 名控制组双眼视觉能力,发现两组儿童立体视觉达到天花板效应(控制组 20 秒角,障碍组 25 秒角),无显著差异。Latvala 等人(1994)在 55 名 12~13 岁的阅读障碍和控制组的研究也发现在阅读障碍患者中无双眼深度知觉的缺陷。同时,研究使用 Frisby 和 Randot 测试发现阅读障碍组的立体视敏度相对于控制组的立体视敏度的平均值不同,但是在统计学上没有达到显著的意义(Felmingham & Jakobson, 1995)。因此,研究者未来依然需要探索双眼深度知觉机制和发展性阅读障碍机制之间的关系。

6.2. 神经退行性疾病的双眼深度知觉缺陷研究

越来越多的证据表明在神经退行性疾病中存在双眼深度知觉的缺陷,包括阿尔茨海默症以及帕金森疾病。Mittenberg 等人发现,阿尔茨海默症患者相比于正常成人组,有可能是认知功能的降低从而导致双眼深度知觉功能损伤(Mittenberg et al., 1994)。同时 Mendez 等人在 15 个患有严重阿尔茨海默症者和 15 名年龄、性别和教育程度匹配的控制组研究中进行了局部立体视(Local Stereopsis)、整体立体视(Global Stereopsis)、运动视差(Motion Parallax)和单眼深度知觉(Monocular Depth Perception)的能力比较,结果表明患有阿尔茨海默症的患者在所有的深度知觉测试结果中发现,相比于控制组都存在显著的深度知觉损伤(Mendez, Cherrier, & Meadows, 1996)。

在帕金森疾病(Parkinson's Disease, PD)患者研究中,发现双眼深度知觉的缺陷与脑功能以及脑结构有着密切关系。Koh, Suh, Kim 和 Kim (2013)通过基于体素的形态学测量 (Voxel-based Morphometry, VBM)方法发现 PD 患者的立体视觉缺陷和右侧纹外视觉皮层的灰质体积减少存在相关关系,并且 PD 患者的立体视觉缺陷与认知衰退密切相关,双眼立体视觉可以预测 PD 和失智症的后续认知发展。Sun 等人(2014)对 45 名 PD 患者和 50 名非 PD 患者进行对比研究发现,立体视觉缺陷与 PD 患者的色觉和运动功能障碍高度相关,甚至会加重 PD 患者的运动功能缺陷,其病理学的主要表现在中央和周边的视觉通路中。

6.3. 精神类疾病的双眼深度知觉缺陷研究

关于精神疾病患者的立体视觉缺陷,最早的发现来自 Schechter 等人(2006)的研究报告。Schechter 等人使用 Titmus stereo 测验对 17 名精神分裂症患者和 19 名控制组的研究发现精神病患者立体视敏度未能达到正常成年人的水平,这表明精神分裂症患者存在双眼立体视觉的缺陷。Hui 等人(2017)以及唐安舒(2015)用同样的方法在 100 个中国汉族精神分裂症患者与 80 个汉族控制组中重复出了 Schechter 的研究结果,证明在中国精神分裂症患者中同样存在着双眼深度知觉的缺陷。此外,唐安舒(2015)在对国内 27 名

焦虑症患者和 55 名抑郁症患的研究中, 使用 Titmus 测验发现, 二者相比正常人群存在着双眼深度知觉的缺陷。国外纵向研究也发现在抑郁症群体确实存在着双眼深度知觉的损伤(Mittenberg et al., 1994)。据此可知, 在精神类疾病患者中确实存在着双眼深度知觉的缺陷, 而这也是影响精神类疾病患者的正常生活的重要原因之一。

6.4. 其他疾病的双眼深度知觉缺陷研究

双眼深度知觉作为人类视功能的重要部分, 还与其他生理疾病密切联系。例如白化病, Apkarian 和 Reits (1989)对 18 名白化病患者的研究发现, 在完成经典双眼立体视觉 Titmus 和 TNO 测试时有 50% 的白化病患者存在双眼深度知觉缺陷; 但研究未能发现参与白化病双眼立体视觉的视觉通道机制, 未来还需要对白化病患者的双眼立体视觉的特征进行研究(Lee, King, & Summers, 2001)。此外眼科疾病也是影响双眼深度知觉的重要影响因素, 如弱视(Levi, Knill, & Bavelier, 2015; Webber & Wood, 2005)、斜视(Han et al., 2014)等。但眼科疾病患者在经过治疗和训练之后, 立体视觉的能力也可以得到相应提升(Sharma, 2017)。同时, 在脑损伤疾病患者中也有发现深度知觉的受损, Miller 等人(1999)在 93 例脑损伤患者中发现 24% 患者的立体视觉受损。Koh 等人(2008)在右侧脑损伤患者中也发现了立体视觉和颜色视觉功能的缺陷。并且整体立体视觉能力的降低也在严重脑损伤患者群体中发现, 这更多可能是因为大脑皮层的改变导致的双眼深度知觉的缺陷(Schmidtman et al., 2017)。

7. 小结与展望

综上所述, 以往的研究从认知机制、神经机制以及遗传机制相关的疾病等对双眼深度知觉进行了探索。但很多方向还值得进一步深入研究, 未来我们建议从以下四个方面对双眼深度知觉进行深入系统的研究。

第一, 开发更为精确以及客观的双眼深度知觉测量技术。目前对于立体视敏度的测量依然以传统的 Stereo fly 测验为代表的纸版测量法为主, 通过参与者的主观报告获得个体的立体视敏度。但在儿童和特殊人群的测验中, 可能存在被试理解困难、视觉疲劳和主试表达不清等因素, 造成测量误差。所以在未来的立体视觉的检测中, 更需要进一步结合现存的计算机和传统测量法开发出更少误差、更为客观精确的测量方法。

第二, 进行双眼深度知觉的整个年龄发展阶段的研究。目前国内纵向研究不同时期双眼深度知觉发展特点的依然缺少, 今后的研究可以结合横向和纵向研究共同揭示双眼深度知觉在整个人群中的发展特点以及其个体差异。

第三, 结合事件相关电位、脑成像和基因分析等技术, 深入研究在特殊人群中双眼深度知觉缺陷的特定脑区和遗传机制, 从而进一步探讨能否将双眼深度知觉相关脑区的缺陷作为诊断疾病的一个重要参考指标。纵观众多脑机制的研究, 多集中于动物和正常成人的双眼深度知觉参与的脑区, 但是缺少对于特殊人群的双眼立体视觉缺陷的脑机制的研究, 因此这也是未来研究发展不可忽视的一个重要领域。

第四, 开展对双眼深度知觉缺陷的干预训练研究。研究表明, 在很大一部分青少年群体和特殊群体中存在着双眼深度知觉的异常, 并且随着年龄增长双眼深度知觉能力也会有所下降, 这些都会严重地影响其日常生活。同时, 研究证明认知能力的提升可以提升双眼深度知觉的能力, 因此双眼深度知觉的干预训练, 也是未来双眼深度知觉研究的一个重要方向。

基金项目

本研究得到陕西省自然科学基金研究计划一般项目(2018JQ8015); 教育部人文社会科学研究青年基

金西部和边疆地区项目(17XJC19001); 中央高校基本科研业务费项目(GK201702011); 国家级高端外国专家项目(文教类)(GDW20186100171)的资助。

参考文献

- 唐安舒(2015). *精神分裂症、抑郁症和焦虑症患者立体视锐度测量与分析*. 硕士学位论文, 合肥市: 中国科学技术大学.
- 王小琴, 谢青(2014). 立体视觉相关皮层的研究进展. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 16(5), 318-320.
- Apkarian, P., & Reits, D. (1989). Global Stereopsis in Human Albinos. *Vision Research*, 29, 1359-1370. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(89\)90192-2](https://doi.org/10.1016/0042-6989(89)90192-2)
- Bishop, P., & Pettigrew, J. (1986). Neural Mechanisms of Binocular Vision. *Vision Research*, 26, 1587-1600. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(86\)90177-X](https://doi.org/10.1016/0042-6989(86)90177-X)
- Black, K., McCarus, C., Collins, M. L., & Jensen, A. (2013). Ocular Manifestations of Autism in Ophthalmology. *Strabismus*, 21, 98-102. <https://doi.org/10.3109/09273972.2013.786733>
- Bosten, J. M., Goodbourn, P. T., Lawrance-Owen, A. J., Bargary, G., Hogg, R. E., & Mollon, J. D. (2015). A Population Study of Binocular Function. *Vision Research*, 110, 34-50. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.02.017>
- Ding, J., & Levi, D. M. (2011). Recovery of Stereopsis through Perceptual Learning in Human Adults with Abnormal Binocular Vision. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, E733-E741. <https://doi.org/10.1073/pnas.1105183108>
- Evans, B. J., Drasdo, N., & Richards, I. L. (1994). Investigation of Accommodative and Binocular Function in Dyslexia. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 14, 5-19. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1994.tb00550.x>
- Fazlyyyakhmatov, M., Zvezdochkina, N., & Antipov, V. (2018). The EEG Activity during Binocular Depth Perception of 2D Images. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018, Article ID: 5623165. <https://doi.org/10.1155/2018/5623165>
- Felmingham, K. L., & Jakobson, L. S. (1995). Visual and Visuomotor Performance in Dyslexic Children. *Experimental Brain Research*, 106, 467-474. <https://doi.org/10.1007/BF00231069>
- Fischmeister, F. P. S., & Bauer, H. (2006). Neural Correlates of Monocular and Binocular Depth Cues Based on Natural Images: A LORETA Analysis. *Vision Research*, 46, 3373-3380. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.04.026>
- Fox, R., Aslin, R. N., Shea, S. L., & Dumais, S. T. (1980). Stereopsis in Human Infants. *Science*, 207, 323-324. <https://doi.org/10.1126/science.7350666>
- Freud, E., & Behrmann, M. (2017). The Life-Span Trajectory of Visual Perception of 3D Objects. *Scientific Reports*, 7, Article No. 11034. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11406-7>
- Freud, E., Robinson, A. K., & Behrmann, M. (2018). More than Action: The Dorsal Pathway Contributes to the Perception of 3-D Structure. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30, 1047-1058. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01262
- Gibson, E. J., & Walk, R. D. (1960). The "Visual Cliff". *Scientific American*, 202, 64-71. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0460-64>
- Han, J., Han, S. Y., Lee, S. K., Lee, J. B., & Han, S.-H. (2014). Real Stereopsis Test Using a Three-Dimensional Display with Tridef Software. *Yonsei Medical Journal*, 55, 1672-1677. <https://doi.org/10.3349/ymj.2014.55.6.1672>
- Hegd , J., & Van Essen, D. C. (2005). Stimulus Dependence of Disparity Coding in Primate Visual Area V4. *Journal of Neurophysiology*, 93, 620-626. <https://doi.org/10.1152/jn.00039.2004>
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1965). Binocular Interaction in Striate Cortex of Kittens Reared with Artificial Squint. *Journal of Neurophysiology*, 28, 1041-1059. <https://doi.org/10.1152/jn.1965.28.6.1041>
- Hui, L., Xia, H. S., Tang, A. S., Zhou, Y. F., Yin, Z. G., Hu, X. L., Du, X. D., & Tang, Y. (2017). Stereopsis Deficits in Patients with Schizophrenia in a Han Chinese Population. *Scientific Reports*, 7, Article No. 45988. <https://doi.org/10.1038/srep45988>
- Julesz, B. (1960). Binocular Depth Perception of Computer-Generated Patterns. *The Bell System Technical Journal*, 39, 1125-1162. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1960.tb03954.x>
- Julesz, B. (1986). Stereoscopic Vision. *Vision Research*, 26, 1601-1612. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(86\)90178-1](https://doi.org/10.1016/0042-6989(86)90178-1)
- Kaplan, M. (2005). *Seeing through New Eyes: Changing the Lives of Children with Autism, Asperger Syndrome and Other Developmental Disabilities through Vision Therapy*. London: Jessica Kingsley Publishers.
- Kaplan, M., Rimland, B., & Edelson, S. M. (1999). Strabismus in Autism Spectrum Disorder. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 14, 101-105. <https://doi.org/10.1177/108835769901400205>
- Koh, S. B., Kim, B. J., Lee, J., Suh, S. I., Kim, T. K., & Kim, S. H. (2008). Stereopsis and Color Vision Impairment in Pa-

- tients with Right Extrastriate Cerebral Lesions. *European Neurology*, 60, 174-178. <https://doi.org/10.1159/000148244>
- Koh, S.-B., Suh, S.-I., Kim, S.-H., & Kim, J. H. (2013). Stereopsis and Extrastriate Cortical Atrophy in Parkinson's Disease: A Voxel-Based Morphometric Study. *Neuroreport*, 24, 229-232. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32835edbc5>
- Latvala, M. L., Korhonen, T. T., Penttinen, M., & Laippala, P. (1994). Ophthalmic Findings in Dyslexic Schoolchildren. *British Journal of Ophthalmology*, 78, 339-343. <https://doi.org/10.1136/bjo.78.5.339>
- Lee, K. A., King, R. A., & Summers, C. G. (2001). Stereopsis in Patients with Albinism: Clinical Correlates. *Journal of AAPOS*, 5, 98-104. <https://doi.org/10.1067/mpa.2001.112441>
- Lee, K., & Lee, S. (2015). 3D Perception Based Quality Pooling: Stereopsis, Binocular Rivalry, and Binocular Suppression. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 9, 533-545. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2015.2393296>
- Levi, D. M., Knill, D. C., & Bavelier, D. (2015). Stereopsis and Amblyopia: A Mini-Review. *Vision Research*, 114, 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.01.002>
- Liévanos, O. G., Gómez Coteró, A. G., López Suárez, E., & Melgoza Galván, A. K. (2012). Visual Acuity in Children with Autism Spectrum Disorder. *Optometry Reports*, 2, e5. <https://doi.org/10.4081/optometry.2012.e5>
- Little, J. A. (2018). Vision in Children with Autism Spectrum Disorder: A Critical Review. *Clinical and Experimental Optometry*, 101, 504-513. <https://doi.org/10.1111/cxo.12651>
- Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1987). Psychophysical Evidence for Separate Channels for the Perception of Form, Color, Movement, and Depth. *Journal of Neuroscience*, 7, 3416-3468. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.07-11-03416.1987>
- Mazziotti, R., Baroncelli, L., Ceglia, N., Chelini, G., Sala, G. D., Magnan, C. et al. (2017). Mir-132/212 Is Required for Maturation of Binocular Matching of Orientation Preference and Depth Perception. *Nature Communications*, 8, Article No. 15488. <https://doi.org/10.1038/ncomms15488>
- Mendez, M. F., Cherrier, M. M., & Meadows, R. S. (1996). Depth Perception in Alzheimer's Disease. *Perceptual and Motor Skills*, 83, 987-995. <https://doi.org/10.2466/pms.1996.83.3.987>
- Miller, L. J., Mittenberg, W., Carey, V. M., McMorro, M. A., Kushner, T. E., & Weinstein, J. M. (1999). Astereopsis Caused by Traumatic Brain Injury. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 14, 537-543. <https://doi.org/10.1093/arclin/14.6.537>
- Milne, E., Griffiths, H., Buckley, D., & Scope, A. (2009). Vision in Children and Adolescents with Autistic Spectrum Disorder: Evidence for Reduced Convergence. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39, 965-975. <https://doi.org/10.1007/s10803-009-0705-8>
- Mittenberg, W., Malloy, M., Petrick, J., & Knee, K. (1994). Impaired Depth Perception Discriminates Alzheimer's Dementia from Aging and Major Depression. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 9, 71-79. <https://doi.org/10.1093/arclin/9.1.71>
- Neri, P. (2005). A Stereoscopic Look at Visual Cortex. *Journal of Neurophysiology*, 93, 1823-1826. <https://doi.org/10.1152/jn.01068.2004>
- Niechwiej-Szwedo, E., Alramis, F., & Christian, L. W. (2017). Association between Fine Motor Skills and Binocular Visual Function in Children with Reading Difficulties. *Human Movement Science*, 56, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.10.014>
- Nishida, Y., Hayashi, O., Iwami, T., Kimura, M., Kani, K., Ito, R. et al. (2001). Stereopsis-Processing Regions in the Human Parieto-Occipital Cortex. *Neuroreport*, 12, 2259-2263. <https://doi.org/10.1097/00001756-200107200-00043>
- O'Connor, A. R., & Tidbury, L. P. (2018). Stereopsis: Are We Assessing It in Enough Depth? *Clinical and Experimental Optometry*, 101, 485-494. <https://doi.org/10.1111/cxo.12655>
- Pfautz, J. D. (2002). *Depth Perception in Computer Graphics* (No. UCAM-CL-TR-546). Cambridge: University of Cambridge, Computer Laboratory.
- Plourde, M., Corbeil, M. E., & Faubert, J. (2017). Effect of Age and Stereopsis on a Multiple-Object Tracking Task. *PLoS ONE*, 12, e0188373. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188373>
- Poggio, G. F. (1985). Cortical Mechanisms of Stereopsis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 26, 133.
- Poggio, G. F., & Poggio, T. (1984). The Analysis of Stereopsis. *Annual Review of Neuroscience*, 7, 379-412. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.07.030184.002115>
- Poggio, G. F., Gonzalez, F., & Krause, F. (1988). Stereoscopic Mechanisms in Monkey Visual Cortex: Binocular Correlation and Disparity Selectivity. *Journal of Neuroscience*, 8, 4531-4550. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.08-12-04531.1988>
- Poggio, G. F., Motter, B. C., Squatrito, S., & Trotter, Y. (1985). Responses of Neurons in Visual Cortex (V1 and V2) of the Alert Macaque to Dynamic Random-Dot Stereograms. *Vision Research*, 25, 397-406. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(85\)90065-3](https://doi.org/10.1016/0042-6989(85)90065-3)
- Richards, W. (1970). Stereopsis and Stereoblindness. *Experimental Brain Research*, 10, 380-388.

- <https://doi.org/10.1007/BF02324765>
- Rodríguez-Vallejo, M., Ferrando, V., Montagud, D., Monsoriu, J. A., & Furlan, W. D. (2017). Stereopsis Assessment at Multiple Distances with an iPad Application. *Displays*, 50, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2017.09.001>
- Schechter, I., Butler, P. D., Jalbrzikowski, M., Pasternak, R., Saperstein, A. M., & Javitt, D. C. (2006). A New Dimension of Sensory Dysfunction: Stereopsis Deficits in Schizophrenia. *Biological Psychiatry*, 60, 1282-1284. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.064>
- Schmidtman, G., Ruiz, T., Reynaud, A., Spiegel, D. P., Lague-Beauvais, M., Hess, R. F., & Farivar, R. (2017). Sensitivity to Binocular Disparity Is Reduced by Mild Traumatic Brain Injury. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 58, 2630-2635. <https://doi.org/10.1167/iovs.17-21845>
- Serrano-Pedraza, I., Vancleef, K., & Read, J. C. (2016). Avoiding Monocular Artifacts in Clinical Stereotests Presented on Column-Interleaved Digital Stereoscopic Displays. *Journal of Vision*, 16, 13. <https://doi.org/10.1167/16.14.13>
- Sharma, A. K., & Kumari, K. (2017). Human Depth Perception. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3, 864-869.
- Sharma, P. (2017). The Pursuit of Stereopsis. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 22, 2.e1-2.e5. <https://doi.org/10.1016/j.jaaapos.2017.10.009>
- Simons, K. (1981). Stereoacuity Norms in Young Children. *Archives of Ophthalmology*, 99, 439-445. <https://doi.org/10.1001/archophth.1981.03930010441010>
- Sun, L., Zhang, H., Gu, Z., Cao, M., Li, D., & Chan, P. (2014). Stereopsis Impairment Is Associated with Decreased Color Perception and Worse Motor Performance in Parkinson's Disease. *European Journal of Medical Research*, 19, 29. <https://doi.org/10.1186/2047-783X-19-29>
- Tanabe, S., Doi, T., Umeda, K., & Fujita, I. (2005). Disparity-Tuning Characteristics of Neuronal Responses to Dynamic Random-Dot Stereograms in Macaque Visual Area V4. *Journal of Neurophysiology*, 94, 2683-2699. <https://doi.org/10.1152/jn.00319.2005>
- Tsao, D. Y., Vanduffel, W., Sasaki, Y., Fize, D., Knutsen, T. A., Mandeville, J. B. et al. (2003). Stereopsis Activates V3A and Caudal Intraparietal Areas in Macaques and Humans. *Neuron*, 39, 555-568. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(03\)00459-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(03)00459-8)
- Wahlberg-Ramsay, M., Nordström, M., Salkic, J., & Brautaset, R. (2012). Evaluation of Aspects of Binocular Vision in Children with Dyslexia. *Strabismus*, 20, 139-144. <https://doi.org/10.3109/09273972.2012.735335>
- Webber, A. L., & Wood, J. (2005). Amblyopia: Prevalence, Natural History, Functional Effects and Treatment. *Clinical and Experimental Optometry*, 88, 365-375. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2005.tb05102.x>
- Wheatstone, C. (1838). XVIII. Contributions to the Physiology of Vision.—Part the First. On Someremarkable, and Hitherto Unobserved, Phenomena of Binocular Vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 128, 371-394. <https://doi.org/10.1098/rstl.1838.0019>
- Xu, Y., & Nakayama, K. (2007). Visual Short-Term Memory Benefit for Objects on Different 3-D Surfaces. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136, 653-662. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.4.653>
- Zohar, S. R. (2015). *The Impact of Stereoscopic 3-D on Visual Short-Term Memory*. Toronto, ON: York University.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7273, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ap@hanspub.org