

虚拟现实环境中对昼夜交替线索的注意会如何影响时间估计

沈 聪, 魏婧雯*

温州大学教育学院, 浙江 温州

收稿日期: 2022年7月6日; 录用日期: 2022年8月5日; 发布日期: 2022年8月15日

摘 要

在日常生活中, 注意和昼夜更替等均会影响人们的时间知觉, 但是, 以往研究却无法控制昼夜更替这一变量探讨其对时间估计的影响, 也鲜有人探讨虚拟现实环境中注意对时间估计的影响。故本研究将通过使用虚拟现实技术改变虚拟现实中的时间流逝速率(昼夜更替速率)这一自变量, 探讨沉浸式虚拟现实环境中昼夜交替线索对时间估计的影响, 并根据最后被试报告的注意情况分析其对时间估计的影响。结果显示, VR环境中昼夜变化速率慢(不发生变化)条件下, 有注意和未注意到光线的被试的时间估计数据没有显著差异, $t(54) = 2.027$, $p = 0.087$ 。反之, VR环境中昼夜变化速率快(发生较明显变化)条件下, 有注意和未注意到光线的被试的时间估计数据存在显著差异, $t(54) = 2.080$, $p = 0.042$ 。由此得出结论, 1) 在虚拟现实中, 将注意放在时间线索上也会对时间估计具有显著拉伸作用; 2) 个体的时间估计既有意识层面的信息加工过程, 也有无意识层面的信息加工。

关键词

时间估计, 光线变化, 虚拟现实

The Effect of Attention to Day Night Cues on Time Estimation in VR Environment

Cong Shen, Jingwen Wei*

School of Education, Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang

Received: Jul. 6th, 2022; accepted: Aug. 5th, 2022; published: Aug. 15th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 沈聪, 魏婧雯(2022). 虚拟现实环境中对昼夜交替线索的注意会如何影响时间估计. *心理学进展*, 12(8), 2717-2725. DOI: 10.12677/ap.2022.128324

Abstract

Attention and circadian replacement can affect the perception of time in our daily life. However, previous studies had not been able to control the circadian replacement variable to explore its impact on time estimation. Few people had discussed the influences of attention to time estimation in virtual reality. Therefore, the virtual reality technology was used to change the independent variable of time-lapse rate (day-night turnover rate) in this study to explore the impact of the circadian alternate cues on time estimation in the immersive virtual reality environment, and according to the final report “whether you notice the light changes” and analyze its impact on time estimation. The results showed that the rate of day and night changes was slow (no change) in the VR environment, there was no significant difference in the estimated time data of the subjects with and without notice of light, $t(54) = 2.027, p = 0.087$. Conversely, in the VR environment where the rate of day-night change was fast (more obvious changes occur), there was a significant difference between the estimated time data of subjects with and without notice of light, $t(54) = 2.080, p = 0.042$. Therefore, there were two conclusions as follows: 1) In virtual reality, paying attention to time cues also had a significant stretching effect on time estimation; 2) Individual time interval estimation had both conscious and unconscious of information processing.

Keywords

Time Estimation, Sunlight Change, Virtual Reality

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

对时间的感知是我们经验以及几乎所有活动的核心和基础。相应地, 时间知觉也是实验心理学的最早主题之一, 并且已经进行了长达一个多世纪的广泛研究。通常, 在心理学中, 称为“时间”的概念和经验实体已成为重要的实验变量, 需要在实验室实验中得到精确的定义和控制(Roekelein, 2008)。

俗话说的好, 快乐的时光总是短暂的, 痛苦的时光却异常漫长, 这就很好的证明了情绪对个体时间知觉的影响因素。而注意对个体时间知觉的影响, 想必每个人都有过等待时候, 等待的时候往往觉得时间过得很慢, 例如等待公交车, 等待考试, 等待上菜, 等待水壶的烧开等。鉴于此, Block 等(1980)曾开展了一个关于观察烧杯的水何时能烧开的实验来研究个体的注意对持续时间的估计的影响。该实验邀请了 48 位被试(24 男)参加实验, 实验主要通过控制主试是否在被试观察一个正在加热的烧杯时向其提问以及热水是否沸腾, 研究了个体将注意放在与任务相关内容与将注意放在与任务无关的内容时, 对个体时距估计产生的不同影响。该研究最终得出结论, 在前瞻性范式中, 将注意放在与任务无关的内容时, 时距估计不会有显著影响, 而将注意放在与任务相关内容时, 个体的时距估计则被显著拉长。这就很好证明了注意会对个体的时间知觉产生影响。

然而, 以往的大多数研究都是通过间接的方式开展的。作为实验中最重要变量, 却不能获得有效的操纵和控制, 使得时间知觉的研究发展相对没有获得重大的突破。当然, 这很大原因就是当时的科技水平, 并不能达到对时间操控这一能力, 以及对于时间的操作定义, 并不明确。

近年来,随着信息技术的快速发展,虚拟现实技术(VR)也得到了进一步的发展和应用。虚拟现实技术是指在计算机中按照设计者的意图,使用一系列视觉,听觉和触觉界面,创建一个接近现实的虚拟环境,用户通过自主的头部运动从而可以及时改变虚拟世界中的情境,从而达到身临其境的感觉(Wada et al., 2016)。VR 技术的发展为人工创设三维的虚拟现实环境提供了可能性,用户在自然的状态下与虚拟情境中的人物、环境、动物等交互,彼此影响(周忠等, 2015),为人造的虚拟现实环境中接受现实生活中难以实施的训练和研究提供了一种新的技术工具,在一定程度上也推动了科学研究方法的发展,深化了不同领域的研究,其中之一就是心理学领域。

作为虚拟现实技术优点之一,即对现实世界的近似可控性,使其在娱乐或医疗等领域也被逐渐的应用。虚拟现实(VR)技术,具有巨大的潜力,可以让人们体验计算机生成的沉浸式虚拟环境(immersive virtual environments),以下简称 IVE。在这些 IVE 中,有许多支持接近自然的视觉、听觉刺激,类似于我们的物理世界中产生的各种刺激(Bruder & Steinicke, 2014; Schatzschneider et al., 2016)。同时,该技术在心理学领域也取得了特有的成果,如在研究虚拟现实与现实之间的差异时,在许多不同的实验中观察到了虚拟现实环境与现实世界之间的距离,速度,空间关系等的估计存在差异(Brown, 1995),但在沉浸式虚拟环境(IVE)中的时间估计却还没有得到重视(Bruder & Steinicke, 2014)。

而创建真实的虚拟环境,昼夜环境是不可避免,多年研究的成果已证实人类大脑中有个位于海马上的超生物钟叫视交叉上核(suprachiasmatic nucleus),能令体内其他的内部“生物钟”互相保持同步(Miyake et al., 2000)。许多研究已证实,视交叉上核会因周边环境线索如光照强弱,促进或抑制松果腺的活动。松果腺则是人体内分泌褪黑激素的腺体(Bumgarner et al., 2021)。褪黑激素有如镇静剂的作用,可以降低机体的活动,增加疲劳感使主体逐渐疲倦最终进入睡眠状态。近 30 年有关人类时间知觉的研究居多认为人类短时长的时间估计由前辅运动助区(Pre-Supplementary Motor Area, Pre-SMA)所掌管,而长时长的时间估计由小脑(Cerebellum)所掌管。这两者与工作记忆脑区背外侧前额皮层(Dorsolateral Prefrontal Cortex, DLPFC)之间联手形成所谓的内部“短时”与“长时”长的生物钟(Haggard, 2005)。然而多年的神经认知科学研究未能较好地揭示,超生物钟与内部其他生物钟之间的关系与交互机制。因此,本研究将采用前瞻范式(Zakay, 1988; Block & Zakay, 1997)和时间估计法,通过虚拟现实技术,操作周边环境线索(如:光照)试图影响视交叉上核,进而观察不同个体对昼夜更替线索的注意对个体长时长的时间估计的影响,同时根据注意闸门理论(Zakay & Block, 1995),比较个体将注意投射到与任务相关与任务无关的位置上时,是否会在时距估计上产生显著差异。

2. 研究方法

2.1. 实验假设

- 1) 被试在昼夜交替线索下的时间估计会长于在昼夜静止时个体的时间估计。
- 2) 被试对昼夜交替的觉察(注意)会拉长时距的估计时长。

2.2. 被试

通过对大学城的学生进行招募,以自愿报名为基础,共 70 人参与实验,其中 13 人因实验过程感到不适中途退出,1 人因主试操作失误将数据剔除,剩余有效被试 56 名(女 43 人,男 13 人),年龄范围 18 到 22 岁, $M = 19.554$, $SD = 0.685$ 。实验中被试均报告为右利手,所有被试视力或矫正视力正常,均从未参加过 VR 的心理学实验,并且在试验前获得充足休息。此后被试在了解本研究的程序、使用仪器设备、获益和潜在风险等因素后,均签署知情同意书。

2.3. 仪器和刺激

实验在正常灯光的三个独立的 VR 实验室进行, 同时每个实验室都配备相同配置的计算机(DELL 电脑: 处理器为 i7-6700; 固态硬盘 120G + 1TB 机械硬盘; 独立显卡 1070 GTX; 16G 内存), VR 设备(动作捕捉器 Kinetic2: 深度感应镜头 320×240 , 16 bit, 30 fps; 颜色感应镜头 640×480 , 32 bit, 30 fps; 机身转动范围 ± 27 度; 传感深度范围 1.2~3.5 米)以及手持输入设备 Xbox360 (“十”字按键和方向摇感, 支持有线, USB 和无线连接), 头部定位仪 HTC-VIVE 头盔。主试在实验过程中通过 e-prime2.0 进行指导语的展示和刺激信号的发出, 以及通过操作 E-prime 来进行数据的收集。被试则坐在软垫的椅子上, 头戴 HTC-VIVE 头盔, 手持遥感手柄进行场景中人物的移动。刺激为虚拟现实场景中昼夜交替速率的变化, 共两种速率, 一种是虚拟现实时间流逝与实际现实时间流逝比为 300 比 1, 即快速的昼夜交替; 和一种虚拟现实时间流逝与实际现实时间流逝比为 1 比 100,000, 即昼夜交替和静止。相应操作由主试在 Skyrim 中输入相应的指令进行控制。

2.4. 实验材料

评价光照, 视野, 操作以及晕眩程度, 体验者均为报告无不适或奇怪后, 最终决定将雪漫城(Whiterun)作为练习场景, 原因是该城为有城墙的城市, 同时该城市比较大, 可以将路线从城墙出发, 沿城墙到无城墙的中心的地区; 选木溪镇(River wood)为实验场景之一, 原因是该城为没有城墙的小镇, 视野不会交叉干扰, 道路开阔; 选取独孤城(Solitude)为实验场景之一, 原因是该城为有城墙的城市, 视野不会交叉干扰, 道路开阔。并且在各个场景选择了路径箭头标记, 具体如图 1 所示。

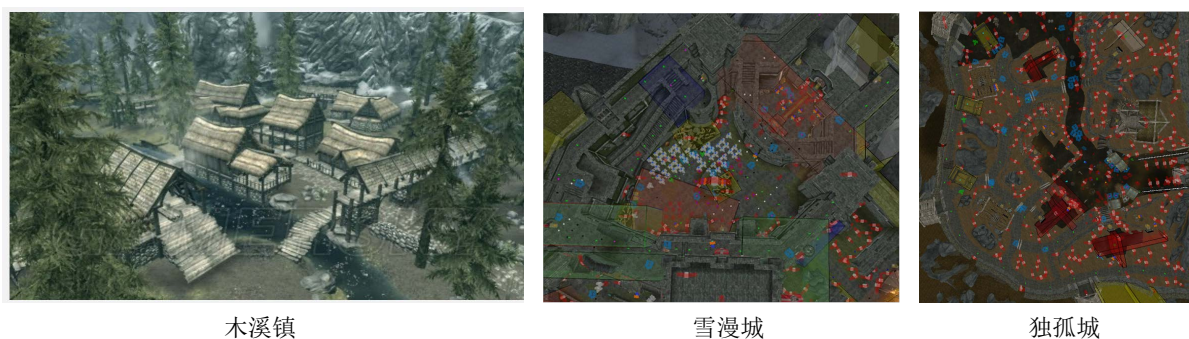


Figure 1. Top view of experimental scene
图 1. 实验场景俯视图

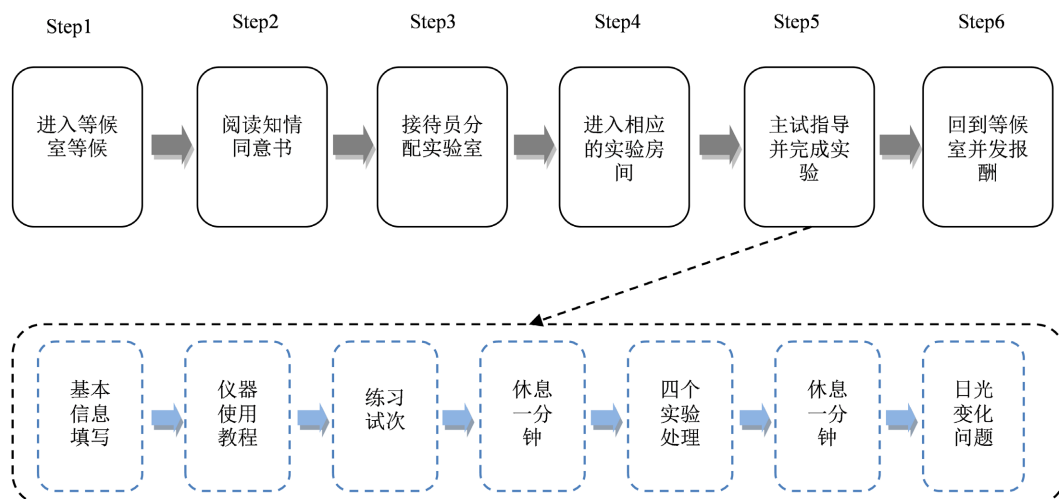
2.5. 实验流程

在实验开始前一天, 短信提醒被试保证休息时间不少于八小时, 并通知受试者参与实验的时间段。

实验当天, 受试者先到等候室后, 接待员告知被试实验的注意事项, 并告知该实验可能带来的晕眩属于正常现象, 若实验过程中感到痛苦或无法继续, 可以随时提出并自由退出, 然后给被试呈现知情同意书, 在仔细阅读知情同意书并同意参与实验后, 填写被试基本信息。此后接待员安排每一位被试到一个单独的虚拟现实实验室, 以减少各种不确定的干扰以及被试间的相互干扰。

到达相应的实验室后, 主试打开 e-prime 程序和 skyrim 制作完成的 VR 场景, 并让被试阅读 e-prime 中的指导语, 告知被试实验目的以及提醒被试不要默数。之后开始教授被试如何使用遥感手柄进行操作, 并在虚拟现实场景中的“雪漫城”进行自由练习, 并熟悉操作, 待主试看到被试能够在箭头之间连贯的移动 5 秒以上, 进行 30 秒的练习试次(被试不知道时长), 并口头报告自己实验过程中两声叮咚相隔的时

距。在被试报告完估计的时间后,主试在 e-prime 中选择被试所报告的时间。并进行下一个试次,主试导入相应的实验场景和场景中时间变化参数的代码,在不同的场景和昼夜变化率中共重复进行 4 个试次,每个试次持续 3 分钟(被试不知道时间长度,需要其估计),最后由被试报告是否觉察到了虚拟情景中日光的变化,并在 e-prime 中进行选择。实验完成后,领取相应的报酬,并在被试单上签名。实验流程如图 2 所示。



注:每进行一次实验试次后,休息一分钟。

Figure 2. Specific process of experiment
图 2. 实验的具体流程

2.6. 实验设计

实验采用 2×2 (即:昼夜变化速率 \times 场景)的两因素被试内设计,其中昼夜变化速率有两个水平:快速更替,静止;场景有两个水平:独孤城,木溪镇,其中场景变量我们假定对因变量无影响,但没有足够的证据,因此将其纳入自变量进行操纵控制,并对其进行分析。

实验中昼夜变化速率操作定义为通过改变虚拟场景中昼夜更替速率,当虚拟现实场景中昼夜交替速率为现实世界的 300 倍时,即更替一个昼夜;当虚拟现实实验场景中昼夜不发生变化,即静止。

因变量为被试对于虚拟现实中时间流逝的时间估计,具体操作定义为被试在虚拟实验场景中移动时口头报告移动过程中听到的两次“叮咚”声的时间间隔。

控制变量:通过对时间估计影响因素的分析,找出了本研究的控制变量主要为自变量的顺序效应,虚拟现实环境的不确定性,听觉通道刺激,肤觉通道刺激,被试操作熟练度,个体差异。

对于实验过程中可能存在顺序效应,本实验采用 ABBA 方法平衡实验条件呈现顺序;对于场景随机事件,本实验采用排除法,选取不会有突发随机时间的场景,并制作箭头表示途径路线;在噪音这一控制变量上,本实验采用排除法,实验选取 3 个独立安静的 VR 实验室;在温度这一控制变量上,本实验恒定法,使用中央空调将温度保持在 20°C ;当涉及个体能否操作实验设备这一控制变量,通过练习场景的练习和练习试次,确保被试熟练度达到实验要求水平;最后个体差异这一变量,本实验排除法,使用被试内设计排除个体差异影响。

3. 实验结果

在实验过程中,共有 13 人(均为女)因晕眩中途退出,未能完成实验,1 人因主试操作失误,这些数

据并非本研究所需的数据, 因此将其剔除, 剩余被试(共 56 人)的平均时间估计以及标准差如表 1 所示。

以场景(木溪镇/独孤城)和昼夜更替节律为自变量, 时间估计数据为因变量进行 2×2 重复测量方差分析。结果显示, 场景的主效应不显著, $F(1,55) = 0.528, p = 0.471$ 。昼夜更替速率的主效应不显著, $F(1,55) = 0.322, p = 0.573$ 。同时场景与昼夜更替速率的交互作用不显著, $F(1,55) = 0.009, p = 0.927$ 。不同场景与时间变化的时间估计的描述性统计如表 2 所示。

Table 1. Descriptive statistics of time estimation of different scenes and time changes

表 1. 不同场景与时间变化的时间估计的描述性统计

实验处理	平均数(秒)	标准差(秒)	样本量
静止独孤城	205.71	78.60	56
运动独孤城	209.10	90.67	56
静止木溪镇	209.91	91.72	56
运动木溪镇	214.46	83.38	56

进一步分析, 我们将注意到日光变化的被试的数据拿来与报告没注意到变化的人比较。以被试自主报告为“是否注意到日光变化”作为自变量, 时间估计为因变量, 进行了独立样本 T 检验。结果显示, VR 环境中昼夜变化速率慢(不发生变化)条件下, 有注意和未注意到光线的被试的时间估计数据没有显著差异, $t(54) = 2.027, p = 0.087$ 。反之, VR 环境中昼夜变化速率快(发生较明显变化)条件下, 有注意和未注意到光线的被试的时间估计数据存在显著差异, $t(54) = 2.080, p = 0.042$; 有注意组所估计的时长, 要显著高于无注意组。不同时间变化与注意情况的时间估计的描述性统计如表 2 所示。

Table 2. Descriptive statistics of time estimation of different time changes and attention situations

表 2. 不同时间变化与注意情况的时间估计的描述性统计

注意情况	时间变化	平均数(秒)	标准差(秒)	样本量
注意	有变化	225.64	86.77	39
	无变化	220.00	90.73	39
未注意	有变化	180.00	36.77	17
	无变化	179.85	41.20	17

以下将分析被试估计的时间与实际时间(180 秒)之间是否有差异, 以下进行单样本 T 检验。结果显示, 个体估计的时间都要显著高于 180 秒。进一步分析, 分别对有注意和无注意组的估计的时间与实际时间(180 秒)之间是否有差异, 进行单样本 T 检验。结果显示, 无注意组所估计的时间与 180 秒均没有显著差异。反之有意识组, 估计的时间与 180 秒差异显著, 在昼夜快速变化场景中, $t(38) = -4.130, p < 0.01$, 个体时间估计显著长于 180 秒; 在昼夜变化静止场景中, $t(38) = -3.912, p < 0.01$ 个体时间估计显著长于 180 秒, 具体描述统计如表 2 所示。

最后的数据分析为, 分别对有注意组和无注意组进行分析。以 VR 环境昼夜更替节律为自变量, 被试估计的时间为因变量, 进行配对样本 T 检验。结果显示, 在注意到日光变化的被试群体中, $t(38) = 0.614, p = 0.543$, 差异不显著; 在未注意到日光变化的被试群体中, $t(16) = 0.015, p = 0.988$, 差异不显著。

4. 讨论

研究中, 我们发现了以下结果, 首先我们发现, 在不同的虚拟现实场景中, 个体的时间估计没有显著差异, Van der Ham 等(2019)曾在通过比较现实场景和虚拟现实场景中观看影片剪辑, 得出 VR 场景和现实生活场景之间对时间长度的感知没有区别, 并且发生的时间压缩效应最有可能是所显示材料的结果。由此也可以得出, 虚拟场景内部的不同的城镇和村庄(相同性质的材料)并不会对个体的时间估计产生影响, 和前人研究一致。

其次我们也发现在虚拟现实的环境中, 昼夜更替速率在 1 比 300 与 1 比 0.000001 的刺激下, 并不会对个体的时距估计产生显著影响。其中, 差异不显著的原因可能是昼夜更替速率仍在人类的最小可觉差(JND)之下, 不能被个体所觉察。也可能是因为昼夜节律对应着人类的昼夜生物钟, 该生物钟非常稳定, 本研究中对昼夜节律的操作事实上并没有影响人们的生物钟, 仅作为一种频闪刺激影响被试的视觉和即时的心理加工。或者是单纯的昼夜交替线索在其他物理线索的影响下, 矫正了个体对时距的估计; 也可能是由于实验过程中的任务过于简单使得被试不自主的会去进行默数从而影响实验结果。

之后, 我们通过对注意这一变量的探讨发现, 当有昼夜交替的场景线索时, 有注意到光线变化的被试与无注意到光线变化的被试对于时间的估计存在显著差异, 由此可以得出一个结论, 注意在沉浸式虚拟环境中对时间估计过程起到重要作用。有注意到昼夜光线变化的被试组的时间流逝速度比无注意组更快, 而相对的, 没有注意到昼夜光线变化的被试组的时距判断则不会受到昼夜光线变化的影响。即无论是否存在昼夜更替变化, 只要注意力集中到虚拟情景中就会高估时距。对其原因进行分析: 1.可能是报告注意到光线变化的被试, 更多的将注意资源放在了与时间相关的客体上, 即代表着时间变化的空间运动线索(昼夜线索)。因此根据注意阀门理论, 个体的注意阀门将开启的更大, 因而可以收到更多的脉冲信息, 从而时距估计会被显著拉长, 实验结果与该理论一致。若用注意资源理论解释, 个体将注意力更多的放在时间信息上, 从而忽略了其他外部信息, 因而导致其时距估计被显著拉长, 与实验结果一致。同时, 该实验结果也与引言中介绍的研究(Block et al., 1980)的实验结果一致。2.可能是虚拟情景中存在诸多新意刺激, 使被试进行了更多的心理加工, 同时接收了更快的刺激变化频率, 从而导致高估时距。这与影响因素中引用的文献结论是一致的。

其中, 被试在虚拟场景移动过程中, 我们切断了被试有意识的计时(默数), 因此可以假定实验过程中, 被试的时距估计是一个无意识的过程。然而当有注意到时间线索变化时, 个体的时距估计被显著拉长, 在未注意到时间线索变化时, 个体的时距估计与现实时间流逝没有显著差异。由此可以得出一个比较重大的发现, 即时距估计的心理加工过程也是一个意识层面心理过程。这与霍尔姆霍赫兹(Helmholtz)提出的“无意识推理”的过程一致, 该过程指出知觉不仅仅是意识底层的信息加工的过程, 还是无意识推论的过程, 而实验结果显示在虚拟现实, 时距估计是无意识的加工过程, 当注意到昼夜交替的光线变化线索时, 意识层面的心理加工对其产生影响, 说明该过程还包含着意识层面的过程。这与 Haggard 的研究结果也相符, 即意识会对时间判断产生影响(Haggard, 2005)。

最后, Zakay 在 1998 的研究中指出, 当注意力从时间上转移开时, 预期持续时间的判断会比注意力不分散时短, 实验中未注意光线变化组并未将注意力集中于时间上, 因此被试注意到其变化的报告时间都有显著高于实际时间, 即时间倾向于高估, 与实验结果一致。因此可以说明, 在虚拟现实中, 将注意放在时间线索上也会对时间估计具有拉长的作用。

5. 结论

- 1) 在时间估计方面不存场景差异。
- 2) 当被试未注意光线变化(时间)时, 光线变化不会对时间估计产生显著影响。

- 3) 在虚拟现实环境中, 个体的时间估计既有意识层面的信息加工过程, 也有无意识层面的信息加工。
- 4) 在虚拟现实, 将注意放在时间线索上也会对时间估计具有显著拉伸作用。

6. 局限与展望

6.1. 局限

本研究主要探寻了在虚拟环境中, 昼夜交替线索对时间估计的影响, 也探讨了注意在其中产生的影响, 但由于个人能力, 精力, 以及实验设备硬件的限制, 实验仍存在很多的有待完善的点。

1) 该研究本来需要研究的是昼夜交替对时间估计的影响, 按照原设想是在运动场景中, 让被试在 4 分钟内体验一个昼夜的轮回(1 比 360)的速率, 但由于设备运行这一速率是会产生延迟和卡顿, 影响实验结果, 同时实验每次处理 2 个试次, 实验误差比较大, 但考虑到被试体力等因素, 可适当增加试次, 同时优化变量操纵。

2) 由于人力和实验室条件限制, 每次实验只能同时进行 3 个被试, 有些被试会由于等待过程过长而产生一定情绪对最终的时间估计产生影响。因此在今后的研究中, 需要对被试情绪等进行控制或疏导, 从而减少情绪等因素对时间知觉产生的影响。

6.2. 展望

1) 本研究一个发现是, 在虚拟现实环境中, 个体的时间估计既有意识层面的信息加工过程, 也有无意识层面的信息加工。鉴于实验的稳定可靠性, 在未来的研究中仍可针对注意方向以及意识水平加以控制以进一步探索关系。

2) 对于虚拟现实中的光线因素控制而开展的研究, 克服了当前不能对现实昼夜光线速率随意变化这缺陷, 为未来的 VR 技术应用于减轻飞行后的时差反应, 探索外太空中不同于地球表面昼夜更替时的时间知觉与个体反应, 以及沉浸式游戏中不同的光线对个体时间认知的影响提供一定的理论依据。

基金项目

浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划(2022R429C056); 温州大学硕士研究生创新基金项目(316202002014)。

参考文献

- 周忠, 周颐, 肖江剑(2015). 虚拟现实增强技术综述. *中国科学: 信息科学*, 45(2), 157-180.
- Block, R. A., & Zakay, D. (1997). Prospective and Retrospective Duration Judgments: A Meta-Analytic Review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 184-197. <https://doi.org/10.3758/BF03209393>
- Block, R. A., George, J., & Reed, M. A. (1980). A Watched Pot Sometimes Boils: A Study of Duration Experience. *Acta Psychologica*, 46, 81-94. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(80\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0001-6918(80)90001-3)
- Brown, S. W. (1995). Time, Change, and Motion: The Effects of Stimulus Movement on Temporal Perception. *Perception & Psychophysics*, 57, 105-116. <https://doi.org/10.3758/BF03211853>
- Bruder, G., & Steinicke, F. (2014). Time Perception during Walking in Virtual Environments. In *2014 IEEE Virtual Reality (VR)* (pp. 67-68). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2014.6802054>
- Bumgarner, J. R., Walker II, W. H., & Nelson, R. J. (2021). Circadian Rhythms and Pain. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 129, 296-306. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.08.004>
- Haggard, P. (2005). Conscious Intention and Motor Cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 290-295. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.04.012>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

-
- Roeckelein, J. E. (2008). History of Conceptions and Accounts of Time and Early Time Perception Research. In S. Grondin (Ed.), *Psychology of Time* (pp. 1-50). Emerald Group.
- Schatzschneider, C., Bruder, G., & Steinicke, F. (2016). Who Turned the Clock? Effects of Manipulated Zeitgebers, Cognitive Load and Immersion on Time Estimation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 22, 1387-1395. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2518137>
- Van der Ham, I. J., Klaassen, F., van Schie, K., & Cuperus, A. (2019). Elapsed Time Estimates in Virtual Reality and the Physical World: The Role of Arousal and Emotional Valence. *Computers in Human Behavior*, 94, 77-81. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.005>
- Wada, Y., Nishiike, S., Kitahara, T., Yamanaka, T., Imai, T., Ito, T. et al. (2016). Effects of Repeated Snowboard Exercise in Virtual Reality with Time Lags of Visual Scene behind Body Rotation on Head Stability and Subjective Slalom Run Performance in Healthy Young Subjects. *Acta Oto-Laryngologica*, 136, 1121-1124. <https://doi.org/10.1080/00016489.2016.1193890>
- Zakay, D. (1998). Attention Allocation Policy Influences Prospective Timing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5, 114-118. <https://doi.org/10.3758/BF03209465>
- Zakay, D., & Block, R. A. (1995). An Attentional-Gate Model of Prospective Time Estimation. *Time and the Dynamic Control of Behavior*, 5, 167-178.