

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：不连续虚拟现实空间中的再定向

作者：周希 宛小昂 杜頔康 熊异雷 黄蔚欣

第一轮

审稿人 1 意见：

意见 1：本文题目太大了，是否可以改为：几何信息和虚拟现实系统类型对个体在不连续空间中再定向能力的影响？请斟酌。

回应：非常感谢评审专家对题目的建议。的确，本研究是从空间的几何信息与虚拟现实系统类型两个方面对人在不连续空间中的再定向能力进行探究，但考虑到再定向能力的研究中，几何信息是一个较为常见的自变量，因而在原标题中并没有对自变量进行明确的描述。但是，审稿人建议的题目较长（26 个字），而学报要求题目不超过 20 个字，所以我们也未能直接采用审稿人建议的题目。

经反复斟酌，我们将题目具体化为“几何信息与不连续虚拟现实空间中的再定向”，英文标题亦改为 *Geometric Information and Reorientation in Uncontinuous Virtual Reality*，以直观体现本研究的自变量、因变量，以避免题目过大过空，使读者能够直接明了地了解本研究的要素。请注意，我们没有将标题直接命名为几何信息对不连续空间中的影响，是因为本研究的结果表明虚拟空间中建筑单元的几何信息对人在不连续虚拟空间中的再定向表现无显著影响。因此，我们觉得在题目中强调“影响”可能误导读者，令人产生几何信息影响再定向的错误预期。

意见 2：引言中引用的有关虚拟现实和不连续空间的参考文献比较少，导致本研究基础稍显薄弱。

回应：非常感谢评审专家的提醒。由于篇幅所限，在引言部分我们重点阐述了空间再定向的相关研究。目前已在修改稿中添加虚拟现实和不连续性的相关内容。其中，关于虚拟现实的文献，我们对虚拟现实与真实世界的关联及其应用进行了简短说明；关于不连续空间，我们主要介绍了空间认知中的空间更新，而不连续空间剥夺了人的空间更新过程，在房间与房间之间没有过渡或连接的建筑单元，这些自身运动信息的缺失，即为我们在本研究中采用不连续的虚拟空间原因，判断人能否适应不连续空间以及是否受到其他因素的影响。

意见 3：结果部分数据图太多，有些不重要的图的内容可以用文字阐述，尤其是图 5 占了整整一页，这些内容用文字就能阐述清楚。

回应：非常感谢评审专家对结果呈现部分的提醒。结果部分有三组图片用呈现结果，且图表主要相关结果均以文字形式在正文中的“结果”部分进行描述。其中图 3 为不同虚拟现实设备类型与房间类型条件下的正确率和平均反应时的呈现，是对行为实验部分主要研究结果的呈现，图表能够极为直观地展现相关数据及对比情况；图 4 为虚拟现实设备类型和房间形状对被试主观报告的影响，呈现的是与主观报告相关的研究结果，与前一部分的行为研究互为补充；图 5 具体展现了头盔式和桌面式虚拟现实系统中的再定向表现，详细说明了人在不同几何类型的房间以及不同虚拟现实系统中，其再定向表现受到的房间数目相关指标（即不同

房间数差及不同总房间数)的影响。

综合考虑,我们保留了图3和图4作为主要结果呈现的图表,原图5(头盔式和桌面式虚拟现实系统中的再定向表现)现已删除,关于被试在不同房间数差情况下和不同总房间数情况下、在不同虚拟现实系统中进行重定向的正确率和反应时情况,原文字进行了保留,从而避免了图文内容冗余的情况。

意见4:摘要中提到:“这些结果表明了人对不连续的虚拟空间的适应性”,但讨论部分没有深入分析这种适应性。

回应:感谢评审专家的提醒。在讨论部分,我们的确未对这一描述进行具体说明,现已进行补充。实际上,在本研究中,我们是以被试回忆金色盒子的正确率来判断人是否能够在不连续空间中进行再定向,从而判断人对不连续的虚拟空间能否适应。本研究结果显示,被试回忆金色盒子位置的平均正确率在85%以上,即我们可以认为被试可以在不连续空间中进行再定向。

空间定位能力是对于人类生存和适应都有着至关重要的意义,而再定向能力即在迷失方向后进行重新定位的能力能直观体现人的空间定位能力(Cheng, 1986)。在本研究中,被试能够在不连续空间中进行再定向,则说明被试在不连续的虚拟空间中能够进行空间定位,进而判断人在一定程度上能够适应不连续的虚拟空间。对此,我们也在讨论部分进行了相应的补充说明。

审稿人2意见:

意见1:作者将本研究的研究问题定位于考察“人类是否能够在不连续虚拟空间中再定向”,这种论述思路极大降低了本研究的理论和现实贡献。首先,在理论层面,已经有研究表明成人是可以共同利用环境特征和几何结构来完成再定向的(如Hermer & Spelke, 1996),因此,本研究除了采用多个虚拟空间之外,本质上也是要求被试利用环境特征来进行重定向,从这个角度来论述本研究,体现不出本研究的理论贡献;其次,在应用层面,已有的大量虚拟游戏或交互环境均是不连续的,而玩家或用户的行为显然非常适应这种不连续虚拟环境(否则这种不连续虚拟环境不会继续大量出现),所以,人类显然是可以“在不连续虚拟空间中再定向”的,没有必要对此进行研究。建议作者重新思考论文写作框架,将论述重点放在不同虚拟现实系统的比较上。

回应:感谢评审专家对于行文思路的建议。综合各位评审专家的评议,我们在正文部分的内容重点也进行了调整。“人在不连续空间中进行再定向”是本研究的基础所在,尽管在虚拟游戏等多种交互环境下,我们可以看到不连续空间在应用层面已经极为广泛,但目前我们并没有发现有研究从实验的角度来证明人在不连续空间中是否具备与现实情境下相同或相似的空间能力,因此被试在不同情况下的再定向能力数据为此提供了良好的佐证,也是为本研究中探究几何信息和不同虚拟现实类型在这其中所产生的影响奠定了理论基础。然而,这并非本研究的核心所在,因此我们对文章有了一定的调整,即我们对问题进行了进一步的聚焦,重点关注几何信息和不同虚拟现实类型对再定向能力的影响。

具体来说,我们主要采取了两方面的改变。首先,我们将题目进一步细化,改为“几何信息与不连续虚拟现实空间中的再定向”,重点关注几何信息和不同虚拟现实系统类型所产生的影响,避免之前题目过大、过空的问题。同时,我们在文献综述部分添加了虚拟现实以及不连续空间的相关文献,以突出几何信息及虚拟现实系统类型这两个自变量在研究中的作用。文献综述部分的修改请参见对审稿人1的意见2的回应。

意见 2: 对结果的分析报告上:

1) “虚拟现实设备类型的主效应在正确率上显著, $F(1, 77) = 6.43, p = 0.013, \eta^2_p = 0.08$, 说明被试在头盔式虚拟现实系统所呈现的不连续空间中再定向的正确率 (87.81%) 低于桌面式虚拟现实系统 (94.37%)。虚拟现实设备类型的主效应在反应时上显著, $F(1, 77) = 8.24, p = 0.005, \eta^2_p = 0.10$, 说明被试在头盔式虚拟现实所呈现的不连续空间中再定向的反应时 (6.50 秒) 低于桌面式虚拟现实系统 (9.13 秒)。”总结来看, 头盔系统正确率低反应时快, 桌面式系统正确率高反应时长, 看起来被试有速度-准确性权衡。请检验该效应, 并说明原因。

回应: 感谢评审专家的提醒和建议。我们补充进行了速度-准确性权衡效应的检验, 结果发现被试的平均反应时与正确率之间的相关系数 $r = 0.077, p = 0.496$, 即不存在速度-准确性权衡。此次分析已经补充在结果部分。

从数据表面来看, 不同虚拟现实系统类型中的正确率高低与反应时长短可能存在关联, 但经检验并无这种效应, 我们认为这是由于反应时的差别并未反应被试行为上的差异, 而是涉及到不同虚拟现实系统类型的反应方式的不同而导致的。正如讨论中提到, 被试在头盔式虚拟现实系统中是通过身体旋转而进行转向, 在桌面式虚拟现实系统中则是通过键盘按键控制旋转方向, 因此被试在头盔式虚拟现实系统中的反应会迅速一些, 而在桌面式虚拟现实系统中的转向则大大受到程序控制的旋转速度的影响。

未来研究可将桌面式虚拟现实系统的旋转速度提升至于人体旋转速度较为一致的速度, 然后对相关数据进行处理, 这样得出的速度-准确性权衡的效应将更具说服力。

2) 图 5, 为何总房间数为 3 的结果出现 2 次, 且两次的结果显著不同。请详细标明各自代表的含义。

回应: 感谢评审专家的提醒和建议。在文章中, 图 5 中一共有四幅图, 前两幅图中, 横坐标为被试找到水果的房间与被试回到的房间的数量差, 简称为“房间数差”, 如被试经过了三个房间之后, 在第四个房间才找到水果, 而找到水果之后回到的是自己第一个经过的房间, 那么此时房间数差为 $4-1=3$ 。后两幅图中横坐标为总房间数, 在之前举的例子中, 此次被试经过的总房间数为 $4+1=5$ 。因此前两幅图片与后两幅图片的横坐标中的“3”虽然在数值上相同, 但其意义并不相同。其意义已经在“数据编码与分析”部分 (请见第 2.4 小节) 进行了补充。

3) 建议作者增加报告被试在寻找水果过程中各房间的停留时间, 以便读者了解不同虚拟环境、房间形状对于寻找 (空间探索) 行为的影响。

回应: 感谢评审专家的提醒。您的建议为后续研究提供了一个良好的思路, 然而由于我们在进行的过程中主要考虑的是被试的空间再定向能力, 这一能力主要通过回忆这一任务进行, 因此我们在本实验中主要关注正确率, 实验数据中并未对被试在寻找水果过程中的具体时间进行分段记录, 只对被试回到房间后回忆金色盒子位置的时间进行了记录, 即实验结果中的反应时。然而, 了解被试在寻找水果的过程中在各房间的停留时间并进行比较, 的确对于我们了解读者在不同的虚拟环境、房间形状中的寻找行为有非常重要的意义, 后续研究中如果我们对被试在不连续空间中的寻找行为有所探究的话, 可以收集并利用这一数据。

意见 3: 某些实验细节需进一步详细阐述。比如, 头盔式虚拟现实是否是完全沉浸式的, 即个体戴上头盔之后, 通过转动头部或身体, 就可以观察周围环境。墙上有 3 个水果图片, 怎么用按键反应选中物体? 各按键具体负责什么功能。在实验材料部分详细自我报告的 3 个问题是什么, 及记分规则。

回应：感谢评审专家对于实验细节的关注和提醒。

1) 头盔式虚拟现实系统是完全沉浸式的，被试在带上头盔之后，只需要转动身体（只转动头部即可，但我们要求被试的身体与头部一起转动，以还原最真实的旋转动作），被试所看到的环境即会发生改变。头盔信息已经在“仪器和材料”部分（第 2.2 小节）中进行表述，“完全沉浸”这一特征也补充了。

2) 被试的视野下方正中间有一根指示棒，如图 2 所示（图 2 为右眼所看到的画面），被试在选择物体的时候，用这个指示棒对准要选择的物体，按下按键即可（手柄为 LT 按键永远选择物体，键盘为空格键用于选择物体）。相应内容已经在“仪器和材料”部分（第 2.2 小节）进行补充。

3) 被试在实验材料部分需要报告的三个问题依次是：“你认为实验中各个房间之间的连续程度？（1 表示非常不连续，7 表示非常连续）”，“请评价房间的形状对你回忆宝盒位置的帮助程度。（1 表示完全没有任何帮助，7 表示非常有帮助）”，“请评价墙上的水果图片对你回忆宝盒位置的帮助程度。（1 表示完全没有任何帮助，7 表示非常有帮助）”。相应内容已经在正文中的“仪器和材料”部分（请见第 2.2 小节）进行补充。

审稿人 3 意见：

意见 1：实验结果明显出现了“正确率与反应时权衡问题”，即头盔式虚拟现实反应快，但正确率低。因而对于结论“再定向的成绩会受虚拟现实设备类型的影响”或“被试在桌面式虚拟现实中的成绩显著高于在头盔式虚拟现实中的成绩”是无效的。指导语中是否有“又快又准反应”？文中写到记录“实验过程中将记录被试找到水果的时间、被试从回到对应房间到回忆起金色盒子的时间”，分析的时间，即取的反应时，究竟是什么？文中亦没有交待清楚。并且，头盔虚拟现实转向时间比较短，再与桌面式虚拟环境比较时间的意义在什么地方？
回应：感谢评审专家的建议。我们补充进行了速度-准确性权衡效应的检验，结果发现被试的平均反应时与正确率之间的相关系数 $r = 0.077, p = 0.496$ ，即不存在速度-准确性权衡。此次分析已经补充在结果部分。

本研究中进行分析的是从被试找到水果后回到之前经过的房间开始到被试回忆起金色宝盒位置的时间，由于行为实验测量的是回忆任务的成绩和反应时，因此我们所取的反应时为被试在每一试次中回到之前经过的房间后，回忆金色宝盒位置的时间，此内容请参见在“数据编码与分析”部分。

关于评审专家提出的不同虚拟现实系统中转向时间存在客观差异的问题，我们在对反应时的结果进行讨论时亦有所提及。的确，被试在头盔式虚拟现实系统中是通过身体旋转而进行转向，在桌面式虚拟现实系统中则是通过键盘按键控制旋转方向，因此被试在头盔式虚拟现实系统中的反应会迅速一些，而在桌面式虚拟现实系统中的转向则大大受到程序控制的旋转速度的影响。而这种客观差异也正是由于两种虚拟现实系统类型本身的差别所致，进而影响了被试的行为，这也是检验不同类型的虚拟现实系统对人的影响的方面之一，在此处呈现这一结果是希望通过数据来说明不同虚拟现实类型对被试行为的影响。

意见 2：被试自我报告的内容，三题是取平均分还是总分，是放在一起分析还是分别做方差分析。作者没有交待清楚。图给人感觉是分开做方差分析的，写的结果给人感觉是放在一起分析的。“我们还对被试自我报告的房间之间的连续程度、房间形状以及水果墙面上的图片对记忆任务的帮助程度等三个问题进行了 2（几何信息：正方形或长方形房间）×2（虚拟现实设备类型：头盔式或桌面式）的组间方差分析”。分析结果“说明被试认为在头盔式虚

拟现实中房间形状对再定向任务的帮助程度（2.90）低于桌面式虚拟现实系统（4.08）”，因变量是第三题？这个对吗？

回应：感谢评审专家细致的建议。在此处三题是均为取原始得分，分别进行方差分析。这三题的原始问题为“你认为实验中各个房间之间的连续程度？（1表示非常不连续，7表示非常连续）”，“请评价房间的形状对你回忆宝箱位置的帮助程度。（1表示完全没有任何帮助，7表示非常有帮助）”，“请评价墙上的水果图片对你回忆宝箱位置的帮助程度。（1表示完全没有任何帮助，7表示非常有帮助）”。我们已经在文章中对问题内容、积分规则以及分析方式进行了进一步明确，可参考我们对审稿人2的意见3的回应。

从上面的三个问题的内容中，可以明确，分析结果“说明被试认为在头盔式虚拟现实空间中房间形状对再定向任务的帮助程度（2.90）低于桌面式虚拟现实系统（4.08）”中的因变量是第2题的计分。

意见3：被试还填写了“圣巴巴拉方向感问卷”然而，作者并没有很好地利用被试问卷结果数据。比如，四组被试方向感有没有显著差异。比如把方向感问卷得分变成协变量进行协方差分析。如果不对圣巴巴拉方向感问卷分析，用它的意义在什么地方？

回应：感谢评审专家的提出的建议。

首先，本研究在结果部分报告了“被试自我报告的空间能力得分与其在不连续空间中的再定向成绩无显著相关”（请见第18页图4上方）。我们使用圣巴巴拉方向感问卷的目的是使用问卷测出被试在真实世界中的方向感，看其是否与被试在虚拟现实系统中的方向感（本文中使用时行为实验中回忆的正确率作为衡量指标）相关，从而判断被试在虚拟环境中的空间能力高低是否可以通过其在真实环境中的方向感好坏来表示。

经过评审专家的提醒，我们对方向感问卷得分数据进行了进一步分析。一方面，我们对方向感问卷得分进行了2（几何信息：正方形或长方形房间）×2（虚拟现实设备类型：头盔式或桌面式）的组间方差分析，结果发现主效应和交互作用均不显著， $\text{all } F_s < 1.74, p > 0.191$ ，说明四组被试的方向感得分无显著差异，排除了组间差异。另一方面，我们将方向感作为协变量对反应时和正确率均进行了2（几何信息：正方形或长方形房间）×2（虚拟现实设备类型：头盔式或桌面式）的协方差分析，协变量主效应不显著： $\text{both } F_s < 1.72, p > 0.194$ 。由于此部分数据分析结果对文章内容来说稍显冗余，因此未添加至正文中。

意见4：作者采用组间设计，为何为81人。不是80人？

回应：在实验过程中，我们最初的计划是收集80名被试的数据，其中男女各半。但是，由于实验预约过程中的沟通不良，导致桌面式虚拟现实系统、处在长方形房间的虚拟空间中进行实验的这组有21名被试（11男、10女），而其它三组均为20名被试（10男、10女）。

考虑到81名被试可能令读者产生困惑或误解，我们在修改论文的过程中将桌面式虚拟现实系统、处在长方形的虚拟空间的最后一名男被试的数据从分析中剔除，使四组的被试数完全相等。因此现在文章中呈现的数据来源于80名被试，每组20名，每组被试中女生均为10人，具体改动请见结果分析部分。

意见5：空间类的实验，性别差异是需要严格控制的变量，四组被试性别比例是否相等或相近，文中没有交待。

回应：谢谢评审专家的提醒。四组被试分别为20人或21人，其中每组的女性均为10人。现已补充在“被试”部分（请见第2.1小节）。

意见 6: 作者在按钮反应设计上, 亦没有交待清楚。如“被试使用罗技 F710 无线游戏手柄上的两个按键作为反应键, 分别用于选中物体和进入下一轮实验。”, “被试需使用键盘的 D 键、K 键和空格键作为反应键”。

回应: 谢谢评审专家的提醒。在头盔式虚拟现实系统中, 被试使用罗技 F710 无线游戏手柄上的 LT 按键和 RT 按键作为反应键, 分别用于选中物体和进入下一轮实验。在桌面式虚拟现实系统中, 被试需使用键盘的 D 键、K 键和空格键作为反应键, 分别用于左右调整虚拟环境界面方向 (D 键为向左, K 键为向右)、选中物体和进入下一轮实验 (均为空格键)。目前相关内容已经补充在“仪器和材料”部分 (第 2.2 小节)。

意见 7: 作者最后写的结论, 给读者的感觉是针对实验结果做的牵强的解释, 临时应对性的, 与最初实验设计时假设完全不一致。

回应: 感谢评审专家的建议。本文最后一段的结论, 是针对本文在问题提出部分所提出的三个问题所进行描述的: (1) 人在不连续的虚拟空间中是否能够进行再定向? (2) 虚拟房间的几何信息对其再定向表现是否会产生影响? (3) 虚拟现实设备类型对其再定向表现是否会产生影响? (请见第 13 页。) 而在讨论部分, 我们也是针对这三个问题结合结果进行了分析, 主要有三点: 1) 整体来看, 人对不连续的虚拟空间具有一定的适应性; 2) 不连续空间中的几何信息对其再定向成绩并无影响; 3) 人在头盔式虚拟现实系统所呈现的不连续虚拟空间中的再定向成绩低于人在桌面式虚拟现实系统所呈现的不连续虚拟空间中的再定向成绩, 并对这三个结果进行了分析和解释。

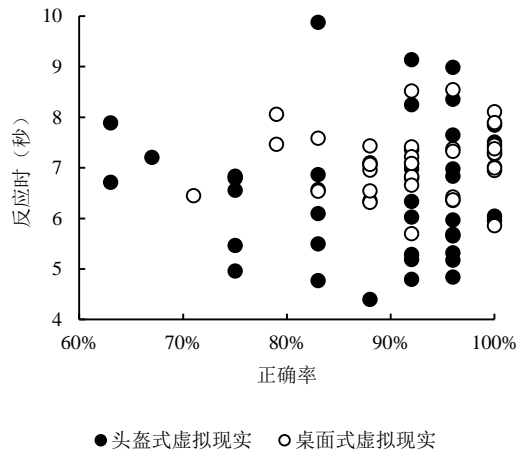
由于本研究首次采用了不连续空间作为研究空间, 因此首先我们需要判断人能否在不连续空间中进行重定向, 即回答第一个问题。在此问题的基础上, 我们分析了几何信息与不同虚拟现实类型所带来的影响, 这也就是我们关注的第二个和第三个问题。在本轮修改中, 我们也以此文章脉络为基础, 对标题以及相应正文内容进行了修改, 具体可参见对审稿人 1 和审稿人 2 的相应回复。本文的讨论部分也经过了斟酌之后对内容进行了进一步补充。首先对本文结果进行一个简短的概括, 然后逐条进行分析、结合行为结果对原因或理论进行分析; 在本部分我们添加了一段关于真实与虚拟的关系的分析, 希望能够基于此将本研究的结果应用到更广地层面。随后讨论中对本研究的不足之处进行了反思, 并提出了后续研究展望。而最后一段的结论, 是对整个研究结果的概述和提炼, 亦是遵循整篇文章的脉络而进行的总结。

第二轮

审稿人意见:

意见 1: 在虚拟现实设备类型主效应反应时与正确率上, 作者做了相关分析和检验, $r=0.077$, $p=0.496$, 但没有写清楚到底如何做的相关分析, 是对所有数据, 即每名被试反应时的数据和其正确率的数据做相关分析。还是将虚拟现实设备作为变量, 求每名被试在某一虚拟现实设备的平均反应时和正确率, 再求相关。虚拟现实设备类型这两个条件数据结果方向完全相反, 即头盔式虚拟现实设备反应时快, 正确率低, 桌面式反应时慢, 正确率高, 且都达到显著差异的情况下, 如果没有显著正相关, 是比较奇怪的, 作者需要将每名被试虚拟现实设备类型这两个条件数据做反应时与正确率的散点图, 看看结果。

回应: 感谢评审专家对数据分析的建议。在本实验的设计中, 我们采用的是组间设计, 因此在进行相关分析时是直接求每名被试的正确率和反应时后进行分析, 具体分析说明也已在“数据编码与分析”部分进行补充。由此我们认为此前进行的相关分析的结果 $r=0.077, p=0.496$ 是可靠的。同时我们也制作了正确率与反应时的散点图, 如下所示:



意见 2: 作者在摘要中写到“被试在桌面式虚拟现实中的成绩显著高于在头盔式虚拟现实中的成绩”，在这样的情况下，就是取正确率的结果。从多感官整合的角度来说，理应头盔式虚拟现实设备成绩要好于桌面式虚拟现实设备，然而，本研究结果却不是。需要进一步思考如何解释，因为头盔虚拟现实设备保留了更多的本体感觉，有更高的沉浸度。

回应: 感谢评审专家对结果分析讨论的建议。我们在对结果进行分析和讨论的过程中，对于“被试在桌面式虚拟现实系统中回忆正确率较头盔式虚拟现实系统更高”这一结果进行了分析。我们认为原因有三种可能。一个可能的原因是被试在进行任务的过程中，对虚拟空间进行了“去空间化”，使用言语策略甚至是数字编码来进行方位记忆，如此一来，桌面式虚拟现实系统由于提供的本体感觉较少，从而对被试记忆方位的干扰较少，被试在桌面式虚拟现实系统中的表现也就更好，同时这一原因也与 Sharples 等人 (2008) 发现的人在头盔式虚拟现实系统中更易引起不适的原因相似。第二个可能的原因是使用桌面式虚拟现实系统完成实验任务与被试在日常生活中使用电脑的经验比较相似，而头盔式虚拟现实系统对于被试来说还较为陌生，头盔、游戏手柄的使用本身可能会影响被试的本体感觉，且电脑游戏中可能有与空间定向较为类似的任务，因此被试在桌面式虚拟现实系统中的表现更好。因此，尽管在头盔式虚拟现实设备中，沉浸度更高，被试能感受到的本体感觉更为逼真和丰富，但由此所带来的干扰以及被试对桌面式虚拟现实的熟悉程度使得被试在完成再定向任务时，在桌面式虚拟现实系统中的正确率更高。相关内容已经补充在讨论部分。

意见 3: 作者需要挖掘一下这个研究三个问题的理论意义。需要在摘要上补充，在讨论部分补充。

回应: 感谢评审专家对研究意义的提醒。本研究理论意义可归结为：对人类的空间再定向能力的研究从现实空间延伸到了虚拟空间，并补充了人在不同虚拟现实设备类型中的行为表现差异这一领域的相关研究。相关内容已经在摘要部分和讨论部分进行补充。

意见 4: 文中用词需要更进一步斟酌，如。。。第二段“我们认为，虚拟现实与物理现实之间的重要区别之一”。写法要保持一致，如讨论第一句“本研究通过行为实验探究了人在不连续的虚拟空间中的再定向能力”，“人对不连续的虚拟空间具有一定的适应性”，这个“一定”定的标准很主观，与任务难易度有关，没有与连续空间任务做比较。

回应: 感谢评审专家对行文的建议。问题提出部分第二段首句中的“虚拟现实与物理现实之间的重要区别”一句已经修改，修改后与全文“不连续的虚拟空间”的描述保持一致，请见第 14 页。同时，“人对不连续的虚拟空间具有一定的适应性”这一说法的确较为模糊，且

由于缺乏与连续空间任务的比较，不够有说服力，我们已经在讨论部分将其修改为“人能够在不连续的虚拟空间中进行再定向”。

第三轮

主编意见：

意见 1：虚拟空间的不连续性是本文的重要概念，如首轮审稿人 1 的意见 2、4 所述，作者虽然补充了关于不连续性的阐述，但文献基础仍然薄弱，更为重要的是研究本身缺少不连续性的衡量指标和操作性定义，也并未考察“连续性”这一变量（如相对于不连续情境设置连续的情境作为对照条件），因此文章对虚拟情境的不连续性所进行的讨论力度不足。

回应：感谢审稿人的意见。在问题提出部分，已经添加了“不连续的虚拟空间”的定义并辅以举例加以说明，以使研究对象更加明确，请见 15-16 页。同时，在讨论部分，我们也从空间信息获取渠道的角度对不连续的虚拟空间的意义进行了解释，请见 24 页。在虚拟现实中，走廊、楼梯这种交通联系空间一般仅提供视觉流信息而无体感运动信息，因此在我们所研究的不连续的虚拟空间中，去除了这一部分空间，使得整个空间记忆的过程中保持两种空间信息的同时输入。因此，从建筑形式上来看，不连续的虚拟空间缺少交通联系空间，但从信息的完整性上来看则是与真实空间更为接近。这也是对“人能适应不连续的虚拟空间”这一结论的可能解释之一。

综合以上两个方面，我们从定义和对结果的解释中均对“不连续性”补充了更为具体和丰富的说明和解释。

意见 2：类似于次轮审稿意见 3，本研究三个问题的内在逻辑联系是什么？建议作者在问题提出和讨论中着重加以补充说明。

回应：感谢审稿人的意见。本研究的三个问题中，最为基础的应当是“人在不连续的虚拟空间中是否能够进行再定向”，以此为基础我们再探讨再定向时可能的影响因素，如几何信息、虚拟现实系统类型等。在问题提出部分我们对此进行了补充，这也是对研究思路的梳理。请见 17 页。在讨论中，我们也是依次对三个研究问题的结果进行了描述，并辅以可能的解释进行了详细阐述，层层递进，而在讨论的最后，结合了本研究的理论意义对研究问题之间的联系进行了补充。

意见 3：讨论中“虚拟可以区别于真实”与研究结果有何联系？这一点如何通过本研究体现？

回应：感谢审稿人的意见。首先，虚拟与真实的区分及联系可以从多种角度来解读，而在本研究中我们主要关注空间认知，因此主要进行了空间形式和信息传递方面解读。而在本研究中，我们测量了被试自我报告的方向感，并计算了被试基于真实世界形成的方向感与其在虚拟现实中的行为表现是否存在关联，结果为阴性。此结果应当可以从空间认知的角度佐证虚拟与现实的区别。具体请见讨论部分。

意见 4：“几何信息”这一变量在研究中呈现阴性结果，是否适宜放在题目当中？且即使放在题目中，结合英文题和行文逻辑是否应作“不连续虚拟现实空间中的几何信息和再定向”？建议作者再做斟酌。

回应：感谢审稿人的建议。结合本研究的三个问题及其之间的逻辑关系，我们认为“几何信息”作为本研究的自变量之一，结果显示其并未对人在不连续的虚拟空间中的再定向有显著的影响，而另一自变量“虚拟现实系统类型”对再定向任务有显著影响，仅将“几何信息”

放在标题中并不妥当，因此将其从标题中删除了。本文题目改为“不连续虚拟现实空间中的再定向”，英文题目亦改为 **Reorientation in Uncontinuous Virtual Reality Space**。

意见 5: 总体而言，考虑到作者将虚拟空间作为本文的一大创新点，建议在前言和讨论中更多地引用真实空间中的研究结果并加以比较，以与之前研究呼应，突出本文创新点，丰富研究结果的内涵和外延。

回应: 感谢审稿人的建议。根据之前的几条较为具体的意见，我们已经逐条对正文进行了补充和修改。由于本文的研究对象较为新颖，因此更多地补充了关于虚拟现实在空间认知方面的研究。同时也对几何信息的结果解释进行了一定的补充，进一步说明与前人研究的一致，在一定程度上能够体现同一实验范式在虚拟空间与真实空间中的一致性，请见第 25 页。

为了突出本文的创新之处，发散研究的意义及未来可能的研究方向，在讨论部分我们进行了进一步讨论，基于空间参照系理论（Levinson, 2003）对研究的意义和贡献进行了进一步的阐述。虽然本文研究对象新颖，但从本质上来说是空间认知相关研究，需对空间认知的理论和实验范式做出一些贡献，特此补充。