

生命性检测器：生命性感知的内嵌性*

赵佩琼^{1,2} 董岩鑫¹ 陈冠初¹ 文生俊³
尹 军⁴ 陈 巍^{1,2} 董 达^{1,2}

(¹ 绍兴大学心理学系; ² 绍兴大学大脑、心智与教育研究中心, 浙江 绍兴 312000)

(³ 中国科学院广州生物与健康研究院, 广州 510530) (⁴ 宁波大学心理学系暨研究所, 浙江 宁波 315211)

摘 要 生命在演化过程中是否被内嵌了生命性感知的认知机制,是当前生物运动研究的核心问题之一。“生命检测器假说”(life detector hypothesis, LDH)仅关注动态线索。鉴于静态线索同样能引发生命性感知,本文提出并论证“生命性检测器假说”(animacy detectors hypothesis, ADH),即认知主体拥有一个内嵌的核心认知模块,包含对生命体特征敏感的感官过滤器,可同时处理动态与静态线索,将外部对象感知为具有生命性特征的对象,为高级的社会认知及其发展提供认知基础。个体发生学、比较心理学、进化生物学、主体间因素(如经验、发育、意识水平与跨模态之间的相互作用)及环境因素(社会互动及重力环境)的证据支持生命性检测器内嵌的可能性,但仍面临生命性偏好质疑等的挑战。未来研究应关注内嵌性机制的获得方式、加工过程、多感官信息的作用及脑认知机制。此外,神经发育障碍儿童的生命性感知受损,或可成为潜在的生物学标志。

关键词 生物运动, 生命性感知, 生命检测器, 生命性检测器, 内嵌性, 核心知识

分类号 B849: C91

“人类普遍存在一种倾向,即把所有事物都想象成自己,并将那些熟悉且深刻感知到的品质转移到每个对象上。我们在月球上看到人脸,在云层中看见军队;若不经经验与反思的矫正,这种天性便会使我们把伤害或取悦我们的万物都赋予恶意或善意。正因如此,拟人手法在诗歌中屡见不鲜且极具美感——树木、山川、溪流皆被赋予人格,自然界无生命的组成部分因而获得情感与激情。”

——David Hume, 1799/2007, 第三节第二段

收稿日期: 2025-09-12

* 教育部哲学社会科学重大课题攻关项目(2025JZDZ023)、浙江省哲学社会科学领军人才培养重大专项课题(青年英才培育)(23QNYC19ZD)、国家社科基金重大项目(2022&ZD034)、国家自然科学基金面上项目(32371090)资助。

通信作者: 陈巍, E-mail: anti-monist@163.com

董达, E-mail: feixiandd@163.com

1 引言

生命性感知(animacy perception)是指个体通过静态和动态线索感知到外部对象具有类生命特征的能力(Di Giorgio, Lunghi et al., 2021)。早在18世纪末,著名哲学家 David Hume 就曾在《自然宗教史》中关注到此类现象。在过去20年间,相关的研究者主要基于对生命性的动态线索或者生物运动(biological motion, BM)及其认知机制的批判性反思,提出了一种新的“生命检测器”假说(life detector hypothesis, 以下简称 LDH) (Johnson, 2006; Troje & Chang, 2023; Troje & Westhoff, 2006; Vallortigara & Regolin, 2006)。这一假说认为非构型的(non-configural)、局部的动态线索(例如,仅凭借符合重力方向的局部的、融贯的脚步运动)即可以被主体直接感知,而无需总是诉诸构型的、整体的传统生物运动模式。动物的中枢神经系统或脑中存在对这一信息不变量高度敏感的“生命检测器”。它贯穿于动物的整个生命周期,在社会认知和社会交互的系统中始终发挥着不容忽视的作用。然而,LDH 仍然存在如下两方面的问题。

首先, LDH 中“生命”概念容易引发对“生命检测器”功能的误解。在当前相关领域的心理学和认知科学语境中,“生命性”(animacy)较之“生命”(life)被视为更具一般性的概念得到推广使用(陈巍等, 2026; 董达, 陈巍, 2025)。根据相关的历史考察, Gunnar Johansson 始终对他提出的“生物运动”一词不甚满意: 他认为该术语存在生物学化的倾向, 因为“生物运动”实际上并非与生物学意义上的“生命”直接相关(从其本意出发与格式塔式的整体运动结构相关)(Johansson, 1973)。在这个意义上, Troje 和 Chang (2013)倡导使用“生命性运动”(animate motion)以代替“生物运动”¹。在本文中, “生物运动”与“生命性运动”可被认为是等价的²。准确地说, LDH 加工的外部感知对象的特征应为“生命性”, 而不是“生命”。这更符合生命性感知的演化意义。在演化过程中, 生命性感知尤为重要, 一个生命体必须快速且直接地辨识出环境中类生命的对象, 并基于复杂信息进行推理, 由此判断周遭世界是否会对自身的生存产生威胁。而在演化过程中, 主体倾向于将更多的生命性或类生命特征赋予外部对象(尤其对于可运动的对象)并加以归因, 这具有明显的生存和适应优势。例如, 在“将静止不动的活的蛇判断为树枝”与“将不断摇曳的树枝判断为活的蛇”这两种情况中, 前者可能会使主体降低生存的概率。在现代的实证研究中, 二维图形的类生命运动即可直接启动生命性感知, 并有着悠久的历史积淀与学术传承(Heider & Simmel, 1944; Scholl & Gao, 2013; Shultz & McCarthy, 2014)——“自 Fritz Heider (Heider & Simmel, 1944)和 Albert Michotte (1950)的开创性实验以来, 此类生命性线索始终令心理学家着迷。”(Scholl & Gao, 2013, p. 199)在日常交往中, 生命性感知也非常重要, 如识别对象的生命性有助于及时调整分配注意资源, 从而预测行为意图、判断如何适当地与其他客体互动。

¹ 或许囿于该领域研究的历史惰性, Troje 等人在具体假说的命名时仍然选择了“生命检测器”。

² 已经有越来越多的文献采用“生命性运动”这一概念表述 (Abdai, 2025; Lunghi & Di Giorgio, 2024; Shen et al., 2025; Pratt et al., 2010), 虽然我们倾向于用该概念取代生物运动, 但仍然尊重该领域用语习惯, 但凡涉及相关研究原始文献中使用生物运动的表述, 一律保留, 仅在相关评论中使用生命性运动。

其次, LDH 作为一种基于动态线索影响生命性感知的具体假说, 尚不能囊括更多对静态线索如何影响生命性感知的解释。传统的动态线索对生命性感知的的影响主要集中在生物运动或目标导向运动, Troje 和 Westhoff (2006)提出 LDH 增加了一种非构型的、局部的动态线索, 主体仅需要感知符合重力作用的局部脚步运动, 即可启动生命性感知。他们的研究强调了自下而上的局部直接感知的重要性。目前的 LDH 聚焦的对象仅包含动态线索, 只能处理部分生命性信息加工, 自然界还有另外一部分静态线索也会引发生命性感知。静态线索主要指呈现为二维形状的视觉特征, 例如面孔、姿势、手势等, 也可能包括气味、味道、信息素等非视觉静态线索。这使得类生命的特征可以在非运动的情境中被直接感知和识别。然而, 对静态线索如何影响生命性感知的讨论超出了 LDH 的关注范围。

近年来, 基于生物运动的 LDH 得到了来自比较心理学与神经科学证据的强力支持与深化, 已成为理解生命性感知的核心框架之一 (Shen et al., 2025; Troje & Chang, 2023)。该框架强调进化形成的、对动态线索敏感的快速检测机制的核心地位。然而, 这一聚焦动态线索的视角, 在解释静态线索(如面孔、身体姿态)同样能够引发快速、自动的生命性感知这一普遍现象时, 存在理论上的不完整性。因此, 有必要在 LDH 基础上, 提出并论证一种具有内嵌性的“生命性检测器”假说 (animacy detectors hypothesis, 以下简称 ADH)³, 旨在进行一次关键性的延伸与拓展: 它不仅涵纳了原有框架对动态线索的解释, 而且通过系统性整合静态线索的加工基础, 构建一个关于生命性初级感知的、更完整的整合性理论。更为重要的是, 我们将这一机制明确界定为一个内嵌的核心认知模块, 并强调该模块深度嵌入社会认知系统, 受主体经验与环境因素影响, 表现出可塑性与适应性微调。以期在理论深度上, 超越对硬连线机制的描述, 转而从先天性、领域特定性、功能嵌入性等多维度, 提供一种更系统、更富解释力的内嵌性阐释。本文将围绕这一主题展开综述, 首先对生

³ ADH 是在原 LDH 基础上的拓展和延伸, 如相关文献中明确使用 LDH 描述, 本文中尊重原作者使用 LDH 表述, 其他均使用 ADH。

命性检测器的机制及特点进行系统总结,接着从个人发生学(发展心理学与发展生物心理学)、种系发生学(比较心理学与进化生物学)、个体因素和环境因素四个方面梳理生命性检测器内嵌性的实验研究证据。并在此基础上提出需要进一步研究的科学问题以及生命性检测器带来的应用启示,具有重要的理论意义和实践价值。

2 “生命性检测器”假说

在展示光点生物运动刺激的实验研究中,研究者基于跨物种间的平行结果提出了 LDH (Johnson, 2006; Troje & Westhoff, 2006)。近年来,多领域研究从不同角度拓宽、完善了这一机制 (Hirai & Senju, 2020; Troje & Chang, 2013; Troje & Chang, 2023)。生命性感知作为一种演化中的认知主体所具备的基本功能——应当首要服务于该认知主体自身的生存和适应,至于启动的静态和动态线索所对应的外部对象究竟是否被判断为客观意义上的“生命”,则是次要的,甚至可以说并不是“生命性检测器”的应有之义。从 Johansson (1973)到 Troje 等人(2005),与生命性感知相关的问题一直都在致力于相关感知问题的去生物学化。考虑青蛙吃虫子的例子。当一个活的、不动的生命被置于青蛙的视域中时,它的生命性感知可能不会被启动;当一个非生命的、被设计具有类生物运动的人工虫子被置于青蛙的视域中时,它的生命性感知可能会被启动。生命性感知是否被启动,与外部对象是否是“生命”,严格来说并无直接关系。成语“草木皆兵”蕴涵了生命性感知。因此,“生命性检测器”是对“生命检测器”内涵更准确的概括和诠释。

本文试图在 Troje 和 Westhoff (2006)提出的“生命检测器”这一概念基础上进行拓展和延伸,提出 ADH。即“生命性检测器”参与所有生命性信息的加工,不仅能处理非构型的(non-configural)、局部的动态线索(例如,仅凭借符合重力方向的局部的、融贯的脚步运动),而且能处理静态线索等类生命的外部对象。只是负责生命性感知加工层级中最初级的处理,在处理生命性信息中起到检测、引起注意、筛选等最基础的功能,是生命性感知的一种重要的加工机制。生命性检测器是一个快速运作的感官过滤器或特征探测器。它的核心功能是检测、筛选、引起注意,即

从环境中快速筛选出可能具有生命性的目标并吸引注意,而非完成对该目标的身份、意图等深层属性的理解。我们更倾向于将其视为一种前置的、自动化的初步检测系统。生命性检测器所参与的都是生命性感知加工链中最初级、自动化的一环,即一个负责快速检测、筛选生命性特征是否存在,并引导注意的内嵌检测模块。其输出为后续更精细的识别、判断等高级认知加工提供基础。

2.1 作为核心认知模块的生命性检测器

我们使用“内嵌性”(Embeddedness),是指生命性检测器作为一个跨物种的脑中的功能模块,是生来具有的,自启动的,并可能通过后天学习获得进一步的发展和特异化,以及与脑中其他功能模块的重新组合。其次,在究竟内嵌“何种情境”的意义上,本文则对此保持开放,即生命性检测器可能是先天内嵌好的,但是不排除通过学习经验在后天获得重新的组合和使用。既可能受到先天的生物学的约束,也可能受到后天环境的约束。“内嵌的”(embedded),同时蕴涵了生命性检测器并非独立存在,而是内嵌在一个更大的神经网络中,并受到后者的约束(Aflalo et al., 2022; Nes, 2023)。根据“核心知识”(core knowledge) (Carey, 2009; Carey & Spelke, 1996)或“核心认知”(core cognition) (Carey, 2011)的解释,内嵌的生命性检测器可以理解是人类心智的“预装软件”或“初始操作系统”。它是核心认知的一个关键模块,根据核心认知具有先天性与早期显现、领域特定性、概念性内容、支持后续学习及整个生命周期存在等特点。生命性检测器是一种先天模块,婴儿和其他动物在出生时即具备该系统,用于检测生命或意图(如物体能否自主移动或是否有目标导向的动作),检测后即抽取线索,专门处理运动线索,随后将运动线索模式与内置模板进行匹配,一旦匹配成功,系统就输出感知,整个过程是快速、自动的、强制性的过程。在心理学和认知发展领域的意义,指的是一系列进化上古老、先天预备的、领域特定的基本认知系统。这些系统在个体生命早期(甚至在婴儿期)就已显现,这种低级的生命性检测系统为高级的社会认知提供了最基本、最核心的基础。

2.2 引发生命性感知的关键特征

特定生物运动模式(比如行走)会被感知到明显的生命性特征,最典型的研究方法是通过光点

显示器呈现半刚性生物运动(semi-rigid biological motion)。这一技术最早由 Johansson (1973)提出,是将光点放置于运动生物的主要躯干和关节上,如肩、肘或腕,观察者似乎会填满连接这些点的线。进而引发行走、跑步、跳舞等人类动作的强烈感知。Troje 和 Westhoff (2006)借助这一技术向被试呈现了整体构型信息(即各个关节的相对位置)被打乱而局部生物运动信息(即各个点的运动轨迹)被保留的光点人类行走动画。实验发现观察者仍然表现得相当好,这提示行走刺激包含的局部运动特征是一种生命性感知线索。尽管人体的形状信息被去除,观察者不再认为“点光源”来自于人类步行者,但仍然能够判断动画面向的方向,感知到一定的生命性。但是当显示屏倒置的时候,人类很难做出正确判断。雏鸡也不再将身体朝向调整为与正立行走的动画方向一致。在进一步的实验中发现,方向信息是由代表步行者的脚的点所传达的(Troje & Westhoff, 2006; Vallortigara & Regolin, 2006)。成人对生物运动给出的生命性评级(对给定刺激看起来“生命性”的评估)也会由于刺激的倒置而降低(Chang & Troje, 2008),且无论光点行走刺激是否具有整体的构型信息,正立刺激的生命性评分都比倒立的高。基于以上发现,研究者运用“生命检测器”解释了他们的研究成果:符合重力作用的局部生物运动信息可传达视野中存在动物的信号,大脑中存在“生命检测器”,对这一信号非常敏感。它是一种独立于结构和形式的且对运动中的动物肢体敏感的视觉过滤器,能够检测具有生命性物体自身的某些特征(Cheng et al., 2023; Johnson, 2006; Troje & Westhoff, 2006),所检测的特征包括面孔以及各种视觉特征(Lemaire & Vallortigara, 2023; Rosa-Salva et al., 2021; Vallortigara, 2021)。这种机制可作为陆地动物的通用检测系统,以迅速定位潜在的猎物或捕食者。从进化的角度来看,这些结果的显著性是合理的。

生命性检测器,作为一种基于生命体自身特征的生命性检测机制,至少需要具备以下特征:(1)它能够检测特定的生物运动模式,例如符合重力的行走运动。在许多动物中,重力是做出反应的主要因素。在人类中,重力则是引起眼球运动的主要因素。因此它可能是通过运动中动物脚的移动,获得重力驱动的视觉变量,以实现生物运

动的早期检测。这一过程是快速的、预先注意性质的,主要由皮层下区域网络支持(Chang et al., 2018),可能是受地球重力环境影响的产物(Wang et al., 2022)。(2)它对客体自我驱动的运动以及移动中的速度变化敏感。以往研究发现,新生儿会对正在运动中刺激物的速度变化做出反应,这是新生儿和成人在发育过程中提高辨别有生命和无生命物体能力的基石(Di Giorgio, Lunghi et al., 2021; Lorenzi & Vallortigara, 2021)。(3)它对生命体的典型形态特征敏感,例如面孔、皮毛。此外,为了触发生命性感知,运动物体需要与物理约束有关,例如重力和能量守恒原理(Jörges & López-Moliner, 2017)。(4)生命性检测器必须能够识别客体构成部分之间的关系,例如头和尾。在脊椎动物的运动中,身体某些部分之间的空间关系在不断变化,而代表连接关节的其他部分之间的空间关系则保持不变。换句话说,运动中的物体必须与结构不变量相关联,比如半刚性原则与刚性无生命物体所表现出的空间恒定性(Simion et al., 2011)。

2.3 敏感的视觉过滤器

“生命检测器”最初定义为一种对生物运动(尤其是局部运动特征)敏感的视觉过滤器,且可能是脊椎动物所共有的古老机制(Johnson, 2006)。源于远古人类生存与繁衍的需要,有关生命性的检测很可能已经逐渐演化为动物的一种基本能力(Bailey & Lang, 2022; Lunghi & Di Giorgio, 2024; New et al., 2007)。当观察者处于丛林或较黑暗的环境时,由于无法有效识别其他动物的身体轮廓,观察者便会通过感知正立的四肢运动,从而产生生命性感知,意识到环境中存在其他生命体。然而实际生存环境中存在更多情况,例如,当其他生命体(例如潜在的捕食者)保持静止时,观察者可能通过面孔、眼睛等形态识别到生命体;而当距离较远时,则可能通过自我驱动运动(可被感知到具有内部“能量源”)来区分生命体与非生命体。现有研究也已经证实,婴儿及其它脊椎动物(如雏鸡)均会表现出对面孔和自我驱动运动等线索的偏好(Di Giorgio et al., 2017; Kobylkov et al., 2024; Rosa-Salva et al., 2023)。Troje 和 Westhoff (2006)提出,视觉系统可能对脚与重力相互作用时产生的物理线索尤为敏感,这反映了一种深远的演化适应性。人类视觉系统可能对陆地上移动动物的

足迹具有高度敏感性, 这种机制可作为一种快速的视觉警报系统, 用于警觉其他生物的存在。这样的“生命检测器”可能会在视觉发展过程中将注意力引导到需要个体学习的刺激, 并最终导致在以后的生活中形成一个对社会感知至关重要的工具。在成熟的视觉系统中, 同样的系统可能继续作为一个一般的警报系统工作, 向视觉环境中潜在的有趣或危险的同种动物和其他大型动物发出信号。

具体而言, 生命体固有的自身特征, 比如特定的生物运动模式与某些形态特征, 很可能是生命性感知的关键线索。因为相较于其他表达意图的线索, 往往需要涉及交互以及更深层次的认知能力, 自身特征是更为明显、直接的感知线索, 并较少地受到学习以及经验的影响, 因此它们是进化过程中的“优势”线索, 进而演化成为一种先天的检测机制。综上所述, 在本文的语境中, 首先, 在最基本的界定中指: 生命性检测器是领域一般的, 从某种程度上必然内嵌在多物种(人、哺乳类、鸟类、鱼类等, 这已经在广泛的实验证据中获得证实)的神经系统中。在未经学习的情况下也可以自启动。生命性检测器是大脑中先天存在的一种对生命体自身特征高度敏感的视觉过滤器, 它能够有效区分生命体与非生命体, 是生命性感知的关键装置, 也是认知活动的前提条件。发育中的视觉系统将受益于此, 这种检测器可以在视觉发育期间将注意力导向需要个体学习的刺激, 并最终导致在以后的生活中成熟为社会感知的关键重要工具(Troje & Chang, 2013, 2023)。

2.4 两阶段加工过程

生命性感知加工过程来源于 Morton 和 Johnson (1991)提出的婴儿面孔感知的双过程理论, 用于解释静态线索如面孔的生命性感知。具体而言, 他们认为新生儿天生就具备一种被称为“CONSPEX”的先天机制, 这种机制基于一种非常粗糙、基于模板的先天视觉过滤器, 对人脸的一般平均外观做出反应。据推测, 该系统会引导婴儿注意人脸, 从而确保发育中的视觉系统获得足够多的重要刺激类别, 并尽可能多地接触刺激物, 以便最终学会如何检索这些刺激物所携带的复杂信息。这种学习本身涉及第二种机制, 称为“CONLEARN”, 需要个体经验的成熟来提取有关身份、情绪和其他面部特征的信息。根据这种观点, 上述特征的局部运动信号驱动一种可能在进

化上古老且潜在先天的早期机制。这种机制可能充当一个通用检测系统, 引导注意力到视觉环境中的生命体。然后通过第二种机制对客体进行进一步研究, 进而获取生命体动态变化的关节体形状, 并从中推断出其身份、动作和意图。这两种机制可以独立地完成互补的功能。局部运动机制可用于引导注意力到视觉刺激, 然后仔细检查从运动介导的全局动态形状中获得进一步的信息。但这本身并不意味着前一种系统是发展后一种系统所必需的(Chang & Troje, 2008)。目前关于这两种机制之间关系的想法仍然很有吸引力, 未来需要更明确的验证。近期, Han 等人(2023)从实证研究出发, 提出了一个动态线索中生命性信息感知的两阶段加工模型, 包括感觉信息处理阶段和特征匹配阶段。以无人机和飞鸟为实验对象, 发现生命性感知是通过关键特征触发的方式产生的, 而不是依赖于证据的积累。在感觉信息处理阶段, 运动敏感神经元或神经环路会提取运动物体的多种运动特征。这些神经元对某些运动特征值(如重力加速度、生命体运动加速度)表现出更高的敏感性。提取的运动特征随后被传递至更高级脑区以判定物体的生命性。在随后的特征匹配阶段, 大脑会将提取的物体运动特征与生命体运动的内在模板进行相似性比对。模型假设大脑中存在一个多维特征空间, 每个维度代表一个运动特征(如加速度、角速度等)。内在模板是特征空间中的一个特定聚类, 由生命体运动特征的分布形成。若某物体的运动特征位于或接近该聚类, 大脑即将其归类为生命体。该模型可能具有先天性, 同时也受后天经验影响(Giorgio et al., 2017; Larsch & Baier, 2018; Rosa-Salva et al., 2016)。另外, 黄梅等(2023)也提出了生命性感知的脑网络构想: 认为皮层下结构可能是生命检测的第一站, 负责提出表达生命体基本运动模式的关键动态特征, 而皮层上区域负责提取多种层次的意图信息, 从而为更高水平的生命性评估提供基础。总的来说, 这些模型为理解大脑如何处理运动物体的信息并决定其生命性提供了一个理论框架。

2.5 在生命性信息加工层级中的定位

有生命性是真实的感知而非感知判断的结果(Scholl et al., 2000)。生命性检测器并非一个孤立模块, 而是嵌入在多层次生命性信息加工系统的前端, 其核心功能可概括为检测、筛选、注意引

导。在加工时序上,生命性检测器承担早期筛选功能,为后续高级认知提供输入基础。依据核心知识理论,生命性检测器属于领域特定的先天认知系统,能够在感知初期快速捕捉环境中具有生命性特征的线索——无论其表现为动态的运动模式还是静态的形态结构。外部刺激首先经由生命性检测器的初步检测与筛选,方能进入后续更精细的识别、判断等高级认知加工。在认知功能上,生命性检测器通过引导注意分配,优化认知资源投向。作为一个对生命性特征高度敏感的感官过滤器或特征过滤器,该机制能够优先将注意力导向环境中可能具有生命性的对象,如有研究发现对有生命性的刺激会存在注意力及记忆力偏好,有生命性的刺激存在会分散场景中对无生命刺激变化的注意检测力(Altman et al., 2016)。无论是文字还是动画,有生命性的东西相比无生命的东西能更容易被记住(Bonin et al., 2014)。从而提升个体对潜在社会交互对象或生存相关目标的检测效率。最后,生命性检测器属于串联加工流程的启动环节,而非对下游过程进行持续监控的调控中枢。生命性检测器的角色是提供初步的、粗粒度的、结构化的生命性信号,以启动后续加工,而非监督或协调各专门化系统的运作。简言之,生命性检测器在生命性感知中扮演门控角色,并不替代面孔或生物运动的专门识别,而是为其提供优先加工入口。例如,在视听整合的生命性感知中,生命性检测器可能先于跨模态整合阶段发挥作用,但其并不调控整合过程的具体进行,而是为整合提供初步的视觉生命性信号。生命性检测器输出的是生命性概率,并不代表面孔或生物运动的专门识别,而是为其提供优先加工入口。即首先对生命性线索进行粗粒度的过滤或注意触发,然后进入相应处理细粒度生命性线索的专门机制(如对面孔 CONSPEC/CONLEARN、生物运动通路、声音或气味等),最后进入高级加工,如意图、推断等。

3 生命性检测器作为核心认知模块

来自遗传学、比较心理学以及个体发生学等领域的探究均证明生命性检测器是跨物种脑中内嵌的认知模块,提供了坚实的实证基础。人类与动物在生命早期、缺乏视觉经验条件下即表现出的生命性偏好,以及跨物种的平行发现与同源神

经基础,共同揭示了这一机制跨物种的先天性、早期显现、进化古老性与领域特定性。

3.1 个体发生学证据

发展心理学、发展心理生物学(developmental biopsychology)与动物行为学研究显示,人类在生命早期阶段就已具备感知生物运动的能力。人类新生儿会对某些生命体的自身特征,比如面孔或者自主运动等表现出自发偏好,这些发现验证了生命性检测器的内嵌性。如在出生几分钟后,人类新生儿就表现出一种面孔偏好,他们倾向于将目光转向类似面孔的刺激物上(Farroni et al., 2006)。Simion 等人(2008)使用优先观察范式对43对平均年龄不到2天的新生儿进行了测试。他们让新生儿在有母鸡形状的光点显示和随机移动的光点显示之间做出选择,结果发现,即使是在如此小的年龄,并且没有视觉经验的情况下,新生儿依然能够区分两种不同的运动模式,并选择性地更喜欢观看有生物运动模式的光点刺激。进一步地,Lisboa 等人(2022)进行了两个优先观察实验,测量不同年龄婴儿对人类行走运动的偏好,结果发现相较于空间打乱的生物运动刺激,3个月大的婴儿表现出对连贯生物运动的偏好。这一证据进一步证实人类先天具有生物运动的检测能力,并使个体倾向于优先关注环境中的其他生命体。此外,Di Giorgio 等(2017)的研究首次揭示了新生儿对能够诱发生命性感知的自我驱动运动的偏好。当小球自主发起运动时,新生儿表现出明显的偏好;而当这一过程被掩蔽,即小球以运动的方式进入屏幕,其自主运动的特征被隐藏时,这种偏好消失。这提示新生儿可能已经具备了通过自我驱动运动感知生命性的能力。在对两名先天性失明患者成功进行视力恢复手术后,研究者发现患者在手术后睁开眼睛时,即刻出现了对运动模式的视觉识别。这表明,至少在生物运动的某些检测能力上,患者在手术后能够立即发挥其作用(Ben-Ami et al., 2022)。对人类运动模式的视觉识别可能并不完全依赖于视觉经验,是人类与生俱来的一种能力(Rajendran et al., 2020)。Kominsky 等人(2022)曾做过系列实验发现婴儿对因果关系的表征与他们早期发展的生命性感知能力密切相关,实验表明10个月大的婴儿对持续性推动(如一只手持持续推着一个物体)和碰撞启动(如一个物体碰撞并启动另一个物体)两种运动来源分别持

两种不同的解释,即认为持续性推动是外力所致,碰撞启动则不是。这表明在婴儿的心智中,这两种因果事件可能是模块化的、事件类型依赖的并分属不同的、独立的认知系统,而非同一个“因果”概念。生命性感知由一个先天的、领域特定的核心认知系统所实现。它是社会性大脑的“第一响应者”,这些能力深深植根于进化而来的核心认知架构之中。

在人类感知生命性的遗传方面,研究者使用双生子研究方法,成功证明了遗传因素在人类感知生命性的能力中存在个体差异,即生命性检测器具有遗传性。如 Portugal 等(2024)通过眼动追踪技术评估了 536 名 5 月龄同性双胞胎的面孔注意力水平,结果发现婴儿对面孔定向和偏好的个体差异在很大程度上受遗传因素影响,这证明了婴儿选择感知输入(社会与非社会)的个体差异是可遗传的。同样地, Wang 等(2018, 2020)也采用双生子研究方法,研究了生物处理局部运动信息和整体构型信息能力在遗传性和环境上的差异性。研究选取了年龄在 15 至 27 岁之间的同卵和异卵双胞胎作为被试,成功量化了环境和遗传因素对这些能力的相对贡献。研究结果显示,个体间局部生物运动信息加工,即与生命性感知相关信息的加工能力差异,50%是由基因决定的。这表明,检测生物运动信息的能力,尤其是检测其固有的动力学特征,是可以遗传的。而个体间整体构型加工的差异,则主要受环境因素和其他非特定因素的影响,遗传倾向对此影响较小。也即处理运动感知中局部运动特征的能力在很大程度上受遗传因素影响,而处理运动感知整体构型的能力则主要由环境因素塑造。

在仿真机器人与人类婴幼儿进行互动时发现,婴幼儿会把机器人感知为有生命性的,把机器人归为社交伙伴,以便在与之互动中获取信息。6~14 个月大的婴儿对仿真机器人以及人类的注视时间和关注区域方面没有差异,无法区分人类和仿真机器人,并且会把互动型的仿真机器人视为有生命的,是可以交流的主体而非物体。当幼儿观察到另一个人与机器人交谈或者偶然与机器人互动时,或者当仿真机器人外观非常像人类或者行为自然时,儿童都会认为机器人更像生物,具有生命性(Barber et al., 2023; Matsuda et al., 2015)。8 个月大的幼儿会模仿机器人做出的运动,

学步期的儿童既模仿实体机器人也模仿屏幕机器人,模仿测试前与机器人互动越多的幼儿更可能模仿机器人,并且模仿随着年龄的增加而增加(Deng et al., 2023; Sommer, Redshaw et al., 2021; Sommer, Slaughter et al., 2021)。在儿童医疗实践中,研究者发现,通过使用社会机器人为儿童进行心理干预,在技术接受度、可行性、愉悦感、参与度、治疗/教育目标的达成、疼痛缓解以及心理健康结果等多个方面均取得了显著成效(Triantafyllidis et al., 2023)。

神经生理学研究发现,基于生命体自身特征的生命性检测主要激活了进化上出现较早的皮层下区域,侧面证明了生命性检测器是进化的产物。有关面孔检测方面的研究已经取得诸多进展,其中被认为负责定向并导致面孔偏好的机制称为“CONSPEC”,根据该领域的主流理论,“CONSPEC”的神经基础应该位于皮层下结构,特别是上丘(superior colliculus, 以下简称 SC),也包括杏仁核和枕核(Behrmann & Avidan, 2022; Johnson, 2005; Mayer et al., 2019)。这一假设得到了一些验证,例如成人的神经成像研究表明,杏仁核、枕核和上丘对人脸传递的低级空间频率信息有反应,但对高级空间频率信息没有反应(Vuilleumier et al., 2003),而低级空间频率恰恰是携带检测类脸刺激所需的信息,高级空间频率则提供人脸身份等详细信息。动态特征的检测同样也被发现根植于皮层下结构(Duarte et al., 2022; Hirai & Senju, 2020)。Lu 等人(2024)通过使用高场(3T)和超高场(7T)fMRI 技术得出了类似的结果,研究通过记录人类与雄性猕猴的上丘神经活动,考察其对局部生物运动点光源刺激(即保留行走者运动特征的点光源动画)的反应。结果表明,上丘,尤其是其表层在生物运动感知中起到重要作用,选择性地对局部生物运动进行反应。接下来的动态因果建模技术(dynamic causal modeling, DCM)分析揭示了一个皮层下-皮层功能通路,传递局部生物运动信号,从顶盖通过颞中视觉复合体到达人类大脑的后颞上沟。这些发现表明,上丘中存在一个跨物种的机制,促进了视觉处理早期阶段对局部生物运动的检测。此外,皮层下的丘脑腹外侧核(ventral lateral nucleus, 以下简称 VLN)也被发现参与了生物运动信息的加工。研究者分别呈现了仅整体构型信息或仅局部运动信息,以及既不包

含整体也不包含局部运动的信息,让被试进行方向判断任务,以隔离这两种信息,这三种刺激进行方向判断任务,以隔离这二者(Chang et al., 2018, 2021)。结果发现,与局部生物运动特征改变(不可引发生命性感知)的运动刺激相比,局部生物运动特征完整(可引发生命性感知)下呈现的人类步行者光点动画,VLN 的激活程度更高。这提示该脑区可能也在生命性探测中起一定作用(Hirai & Senju, 2020)。

3.2 比较心理学与进化生物学证据

比较心理学与进化生物学的丰富证据显示,对生命体自身运动或形态特征的偏好并非人类所独有,而是普遍存在于非人类灵长类动物和其他哺乳动物、鸟类、鱼类以及软体动物中,通过跨物种的一致性 & 特异性,共同揭示了该机制的内嵌性、古老性与适应性本质。Vallortigara 等(2005)利用鸡的印随行为研究,首次发现刚孵化出来,视觉经验不足的雏鸡,相较于随机移动的光点或者僵硬旋转的物体,更偏好接近生物运动的点光源显示。这种偏好不仅局限于行走的点光源母鸡,对于行走的猫,以及这两种动物的任何一种乱码刺激,也同样存在。进一步的研究发现,雏鸟会对连贯点光源母鸡的朝向做出反应,但只有在直立呈现时才有效,这些雏鸡很可能是对基于重力的不变量做出反应,这背后的机制可能与人类感知生命性和方向性相似(Vallortigara, 2012; Vallortigara & Regolin, 2006)。在接下来的研究中,研究者发现婴儿期的猕猴在接触任何实际面部经验之前,就已展现出对非特定物种面孔的偏好(Sugita, 2008)。雏鸡同样展现出这一偏好,当它们面对类似面孔的图式刺激,甚至人类脸孔的图片时,都能观察到自发的偏好(Rosa-Salva et al., 2015)。而没有视觉经验的雏鸡表现出对速度变化的敏感性,表明存在一种注意力过滤器,能够对生物体的一般特性之一做出反应,这是首次证明非人类观察者对速度变化的视觉倾向(Rosa-Salva et al., 2016)。进一步的研究发现,视觉未成熟的雏鸡会本能地趋近沿其身体长轴移动的简单物体(Rosa-Salva et al., 2018)以及对向上移动刺激的偏好(Bliss et al., 2023),这些偏好与人类判断向上运动更具生命性的倾向相呼应。同时研究者使用眼动追踪技术和瞳孔测量法对狗进行研究发现,

狗倾向于以可变速度移动的自我推进刺激,当看到这些动作提示时,狗的瞳孔大小变化更大(Völter & Huber, 2022)。以上在不同物种研究中发现的与人类的相似性,表明这是一种脊椎动物共有的古老进化机制。

对生命体的自身运动特征的偏好还存在于某些水生脊椎动物、无脊椎动物以及软体动物中。有研究考察了由少量孤立的点构成的“生物运动”刺激是否以及如何诱发鱼类的趋避行为。实验发现,与非生物运动相比,生物运动会使青鳉鱼(*Oryzias latipes*)有更多的趋群行为。且这种行为在正常速度组下最多,在过快或过慢速度组中则会减少。同时,当播放倒置影片时,趋避行为也略有减少(Nakayasu & Watanabe, 2014)。Larsch 和 Baier (2018)的研究展示了斑马鱼对光点生物运动刺激的敏锐反应,即便这些光点动画缺乏真实外观,也能激发斑马鱼的结群游动行为,这表明它们将光点视为同类,进一步的研究发现斑马鱼能够区分同物种正立和倒立的生物运动信息,它们更倾向于在呈现正立光点斑马鱼运动刺激的缸壁附近游动,而非倒立刺激的缸壁,这证明了与重力作用方向一致的运动线索是斑马鱼感知生命性的重要来源,并首次证明了简单水生脊椎动物对生物运动感知的倒置效应,从而表明依赖重力的生物运动加工的进化起源可以追溯到古代水生动物(Ma et al., 2022)。De Agrò 等人(2021)首次证明无脊椎动物跳蛛能够识别生物运动,尽管跳蛛的视觉系统与脊椎动物存在显著差异,但实验发现它们能够明显区分生物运动和随机刺激,这加深了我们对这种视觉处理策略进化起源问题的思考,并暗示此类基于视觉系统的生物运动识别机制在动物界可能广泛存在。有研究者测试软体动物墨鱼胚胎对捕食者的先天识别能力,实验通过测试墨鱼胚胎的通气率来评估反应,发现墨鱼胚胎可以通过条件反射对无害和有害的视觉线索做出适应性反应(Mezrai et al., 2020)。表 1 总结了进化过程中不同动物对生命性感知的证据。

随着人工智能的发展,研究者发现自我驱动的运动机器人,也会被动物感知为有生命性的。与以往主要依赖被试对屏幕中刺激物注视行为的研究不同,Abdai 等(2022)使用人工的不明移动物

表 1 进化过程中不同动物对生命性感知的证据

动物类别	研究对象	研究方法	研究材料	主要结果	研究来源
哺乳动物	人类	24 小时至 120 小时的新生儿	优先观察范式	人类面孔图片	新生儿更喜欢直视人脸, 并且偏好只存在于脸和头部直立的情况下。Farroni 等(2006)
		平均年龄不到 48 小时的新生儿	优先观察范式	生物运动以及非生物运动的点光源动画	能够区分两种不同的运动模式, 并选择性地偏好观看有生物运动信息光点刺激。Simion 等(2008)
		89 天至 128 天的婴儿	优先观察范式	完整的人类点光源步行者; 空间打乱的人类点光源步行者。	相较于空间打乱的生物运动刺激, 三个月大的婴儿表现出对连贯的生物运动偏好。Lisboa 等(2022)
		12 小时至 175 小时的新生儿	婴儿控制的优先注视技术	小球自我驱动的运动事件; 小球非自我驱动的运动事件	能够区分自我和非自我驱动的运动物体, 并且对自我驱动运动的物体表现出偏好。Di Giorgio 等(2017)
		7 岁和 20 岁的先天盲人	/	点光源显示的行走的人、鸽子和猫	先天性失明患者成功进行视力恢复手术后睁开眼睛时, 即刻出现了对运动模式的视觉识别。Ben-Ami 等(2022)
		15 至 27 岁之间的同卵 59 对和异卵双胞胎 58 对	点光源实验	完整的人类点光源行走者、代表人体头部和关键关节的少量点在跑步机上行走	处理运动感知局部运动学的能力在很大程度上受遗传因素影响。Wang 等(2018)
		6 至 14 个月大的婴儿	优先观察范式	人类、模仿人类的机器人和有机械外观的机器人	6 到 14 个月大的婴儿可以区分机械机器人和人类, 但无法区分人类和模仿人类的机器人。Matsuda 等(2015)
灵长类		6-8 个月大的婴儿	偶然性学习任务测试	当婴儿的右腿加速度峰值超过个性化阈值时, 机器人会提供强化。	机器人可以以婴儿期运动学习过程提供干预。Deng 等(2023)
		1 至 3 岁儿童	观察模仿	一个人或一个机器人演示了两个目标导向的物体操作任务	在执行模仿任务之前, 孩子们与机器人接触得越多, 他们就越有可能模仿机器人的动作。Sommer 和 Slaughter 等(2021)
		6-24 个月的幼猴	偏好观察范式	人脸和猴脸图片	猴在接触任何实际面部经验之前, 对照片中的猴脸和猴子的脸表现出偏好, 并且可以区分他们的脸。Sugita (2008)
	猫和狗	/	人工不明移动物体表现出三种交互行为: 推球、引诱动作或向被试移动	对比无生命性的人工不明移动物体, 猫和狗这两种动物都更频繁地接近地接触生命性的人工不明移动物体, 狗比猫更加热衷于探索并与人工作的不明移动物体互动。	Abdai 等(2022)
	狗	眼动追踪技术和瞳孔测量法	人松手后的滚动球视频: 正放和倒放, 匀速和变速运动	狗倾向于以可变速度移动的自我推进刺激, 当看到这些动作提示时, 狗的瞳孔大小变化更大。	Völter 和 Huber (2022)

续表

动物类别	研究对象	研究方法	研究材料	主要结果	研究来源
鸟类	刚孵化出来, 视觉经验不足的雏鸡	点光源实验	点光源动画序列	雏鸡第一次接触到点光源动画序列时, 表现出一种自发的倾向于接近生物运动模式。	Vallortigara 等(2005)
	刚孵化出来, 视觉经验不足的雏鸡	点光源实验	母鸡形状的点光源动画	雏鸡会对连贯点光源母鸡的朝向做出反应, 但只有在直立呈现时才有效, 这些雏鸡很可能是基于重力的不变量做出反应, 而这种机制与人类感知生命性和方向性相似。	Vallortigara 和 Regolin (2006)
	在孵化期间及孵化后, 鸡蛋和小鸡保持在完全黑暗的环境中, 在测试之前防止任何视觉体验。	偏好观察范式	代表简单形状运动的视频动画(红色圆形刺激在黑暗背景下线性运动)	没有视觉经验的雏鸡对速度变化的敏感性, 表明存在一种注意力过滤器, 能够对生物体的一般特性之一做出反应, 这是首次证明非人类观察者具有对速度变化的社会倾向。	Rosa-Salva 等(2016)
	在孵化期间及孵化后, 鸡蛋和小鸡保持在完全黑暗的环境中, 在测试之前防止任何视觉体验。	偏好观察范式	带有圆角的红色矩形物体沿着相同的 V 形路径移动的动画。	视觉未成熟的雏鸡会本能地趋近沿其身体长轴移动的简单物体, 首次证明新生的非人类动物对视觉线索的社会偏好与双侧形态对行为的约束有关。	Rosa-Salva 等(2018)
鱼类	没有任何视觉经验的小鸡	偏好观察范式	向上或向下移动的红色圆圈的視頻动画。	在没有任何视觉经验的情况下, 小鸡总是倾向于接近向上移动的刺激。	Bliss 等(2023)
	青鳉鱼(medaka)	/	沿躯干等距自动放置 6 个点代表鱼类的点光源视频。	与非生物运动相比, 青鳉鱼在生物运动会导致更强的趋群行为。正常速度组中, 趋避行为最多, 而在速度快于正常速度和慢于正常速度组中, 趋避行为减少。同时当播放倒置影片时, 趋避行为也略有减少	Nakayasu 和 Watanabe (2014)
	斑马鱼(zebrafish)	/	鱼类一样的点运动刺激的視頻	斑马鱼对光点生物运动刺激的敏锐反应, 即使这些光点动画缺乏真实外观, 也能激发斑马鱼的结群游动行为	Larsch 和 Baier (2018)
昆虫	斑马鱼	偏好观察技术	沿着鱼身体等距离放置的 6 个点, 成年斑马鱼正常长度的大小的运动视频	倾向于在呈现正立斑马鱼运动光点刺激的缸壁附近游动, 而非倒立刺激的缸壁。进一步的研究发现, 与重力作用方向一致的运动线索是斑马鱼感知生命性的重要来源。	Ma 等(2022)
	跳蛛	迫选范式	点光源生物运动刺激	跳蛛能够明显区分生物运动和随机刺激, 存在于生物运动的检测系统。	De Agrò 等(2021)
软体动物	墨鱼胚胎	观察范式	向墨鱼胚胎呈现视觉刺激: 捕食鱼类、非捕食性鱼类、黑墨。	墨鱼胚胎可以通过条件反射对无害和有害的视觉线索做出适应性反应。	Mezrai 等(2020)

体(artificial unidentified moving objects, UMOs), 这样能提供一个更自然、更具互动性的环境。研究发现, 对比无生命性的 UMO, 猫和狗这两种动物都更频繁地接近并接触生命性的 UMO, 且狗比猫更加热衷于探索并更多地与 UMO 互动。使用人工智能进行的现场演示, 为研究非人类物种的社会感知提供了独特的机会。

遗传学的一些重要证据表明, 相关特征的偏好受到遗传因素的显著影响, 证明了生命性检测器的先天性。Versace 等(2017)利用刚出壳的雏鸡对母鸡头部/颈部区域的视觉偏好这一自然倾向, 调查了不同品种雏鸡完整(由各种部件组装而成的毛绒母鸡)和打乱(各部件不按顺序随意组装)的母鸡图像的自发偏好, 结果显示, 所有品种的雏鸡在初次接触时均展现出了对完整母鸡的初始偏好, 这表明初始偏好可能是遗传决定的。然而几分钟后, 不同品种之间就出现了明显的差异, 这说明新生雏鸡对类似母鸡刺激的视觉偏好具有显著的遗传变异性。

Rosa-Salva 等人(2015)综合雏鸡研究中的相关神经基础证据, 推测视顶盖(与哺乳动物的上丘同源)可能是一个参与生命性检测的重要结构。进一步地, Lorenzi 等人(2017)也得出了类似的结果, 即相较于匀速运动, 当刚出生的小鸡观看具有速度变化的运动(可引发生命性感知)时, 其视前区会表现出更高的活性。最近的一项研究中, 研究者首次向刚孵化且视觉经验为零的雏鸡展示生物运动或刚性运动刺激, 并测量了它们的大脑激活情况。即刻早期基因(c-Fos)表达显示, 下丘脑的视前区和杏仁核复合体的一个特定核团(与哺乳动物的内侧杏仁核同源)被选择性激活。这些结果表明, 皮层下/皮质下区域在孵化时的生物运动感知中起着关键作用, 为未来对包括人类在内的成年动物的研究提供了基础(Lorenzi et al., 2024)。同样也有研究使用磁共振成像技术(magnetic resonance images, MRI)发现猕猴杏仁核在面部生命性感知中起着重要作用, 尤其是杏仁核的外侧核和基底核神经元(Kuraoka & Nakamura, 2025)。Ichwansyah 等人(2024)利用脑皮层电图(electrocorticography, ECoG)一种多通道脑表面记录和刺激探针电极阵列的技术, 让两只日本猕猴观看包含有生命与无生命刺激的影片, 并执行分类任务。研究发现, 在整个影片呈现期间, 猴子的

颞叶皮层(the temporal cortex, TC)以及背内侧前额叶皮层(the dorsomedial prefrontal cortex, dmPFC)参与了分类加工。在处理有生命信息所涉及的颞叶皮层的网络加工通路中, 信号以波的形式从颞下皮层(the inferior temporal cortex, ITC)传递到颞上沟(the superior temporal sulcus, STS)。类似地, 研究者使用 fMRI 技术研究人类和狗对有生命和无生命类别刺激的反应, 发现两种物种均在识别生命性刺激时激活颞叶区域(temporal regions), 同时激活的还有双侧枕叶(bilateral occipital) (Boch et al., 2023; Farkas et al., 2024)。这些发现共同表明, 大脑中较为古老的部分在生命性检测中扮演着重要角色。图 1 展现了脊椎动物大脑演化中与生命性检测器激活相关的同源结构比较, 这些神经同源性证据, 为上述行为层面的一致性提供了生物学基础, 进一步支持了进化保守核心机制的存在。

上述来自鱼类、鸟类、哺乳类乃至无脊椎动物、机器人等的丰富证据, 支持生命性检测器是一种内嵌性的核心认知模块。首先, 跨物种表现出的高度一致性, 揭示了该机制的进化古老性与功能保守性。无论是新生儿与雏鸡对面孔的偏好、对生物运动倒置效应的敏感, 还是斑马鱼对正立游泳光点的追随, 这些跨越巨大种系距离的相似行为模式强烈暗示, 生命性检测并非人类独有的高级认知, 而是脊椎动物乃至更广泛动物类群共享的一项基础认知能力。很可能在进化早期就已出现, 并被不同支系继承和保留。图 1 所展示的为这种进化保守性提供了潜在的神经证据。其次, 物种间存在的具体差异, 则体现了生命性检测器的内嵌核心机制在不同生态环境下的适应性。核心机制是稳定的, 但随物种的生存需求而异。例如, 跳蛛能区分生物运动但更偏好随机运动的“反向偏好”结果(De Agrò et al., 2021), 是跨物种证据整合的一个提示, 即生命性检测的区分能力与自发偏好并非同一层面的指标, 二者可能出现分离。在一些物种中, 早期视觉系统可能足以提取并区分生物运动与随机运动, 但其自发取向更多受生态位需求、捕食策略与运动统计特征、视野位置等刺激参数调控, 从而出现与多数脊椎动物不同的偏好方向。因此, 关于跳蛛的研究结果提示虽然“生命检测器”作为内嵌的核心认知模块, 其核心机制是相对保守的, 但其行为表现会在演化

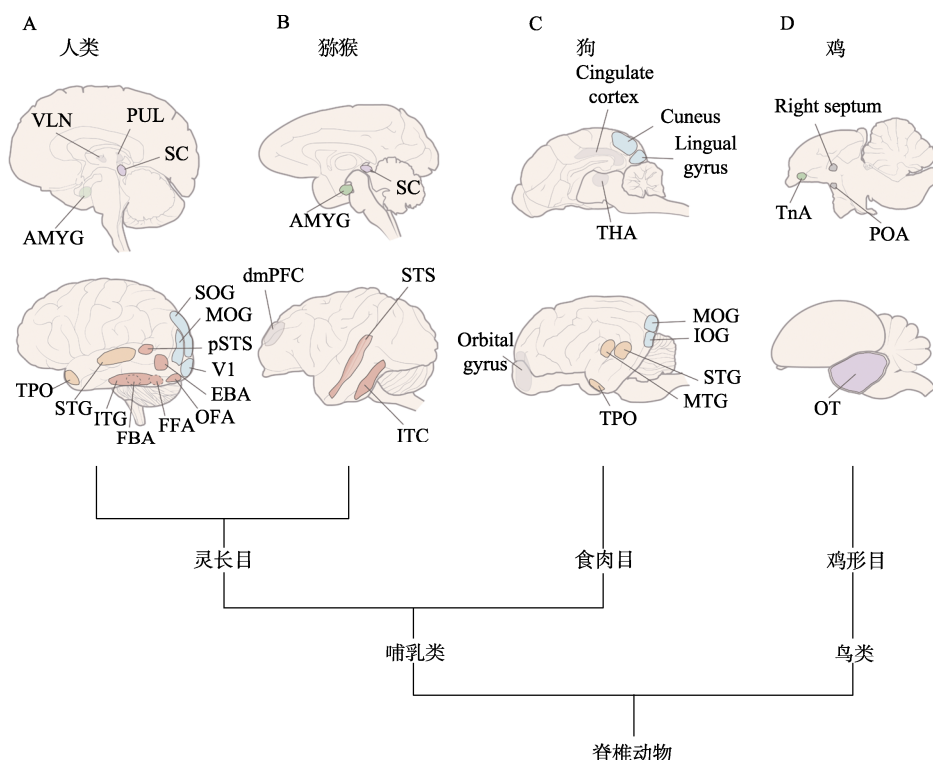


图1 脊椎动物大脑演化中与生命性检测器激活相关的同源结构比较

注：图中系统性展示了人类、猕猴、狗和鸡的大脑矢状位视图(上排图)与左视图(下排图)。图中，不同颜色代表了在生命检测过程中可能具有特定同源路线的脑区(除灰色代表未明确同源的独立脑区)，而透明度则表示该脑区对于特定生命性刺激的激活强度或参与强度，其中透明度越高表明激活或参与强度越弱。此外，虚线标识的脑区代表其位于皮层深层。腹外侧核(Ventrolateral Nucleus, VLN)，枕核(Pulvinar, PUL)，上丘(Superior Colliculus, SC)，杏仁核(Amygdala, AMYG)，枕上回(Superior Occipital Gyrus, SOG)，枕中回(Middle Occipital Gyrus, MOG)，后颞上沟(Posterior Superior Temporal Sulcus, pSTS)，初级视皮层(Primary Visual Cortex, V1)，纹外体区(Extrastriate Body Area, EBA)，颞极(Temporal Pole, TPO)，颞上回(Superior Temporal Gyrus, STG)，颞下回(Inferior Temporal Gyrus, ITG)，梭状回面孔区(Fusiform Face Area, FFA)，梭状回身体区(Fusiform Body Area, FBA)，枕叶面孔区(Occipital Face Area, OFA)，背内侧前额叶皮层(Dorsomedial Prefrontal Cortex, dmPFC)，颞上沟(Superior Temporal Sulcus, STS)，下颞皮层(Inferior Temporal Cortex, ITC)，扣带皮层(Cingulate Cortex)，楔叶(Cuneus)，舌回(Lingual Gyrus)，丘脑(Thalamus, THA)，眶回(Orbital Gyrus)，枕下回(Inferior Occipital Gyrus, IOG)，颞中回(Middle Temporal Gyrus, MTG)，右侧隔区(Right Septum)，杏仁核的带状核(Nucleus taeniae of the amygdala, TnA)，视前区(Preoptic Area, POA)，视顶盖(Optic Tectum, OT)。彩图见电子版。

压力下表现出精巧的适应(De Agrò et al., 2025)。同样的，有研究发现独居型和群居型蝗虫都能检测视觉运动线索，但只有群居动物会主动追逐这些线索。这详细揭示了在同一物种内部，生命性检测的行为输出如何随种群密度发生根本性转变(Mitra et al., 2026)。这些差异恰恰证明了生命性检测器作为一个内嵌的领域特定模块，其具体实现方式受到强烈的自然选择塑造，具有高度的生态适应性。因此，跨物种证据揭示的是一个古老、内嵌、对生命性信息敏感的核心检测机制，构成了动物感知系统的基石，而这一核心机制在不同

物种中，通过与特定环境互动的进化历程被塑造，最优地服务于各自的生存与繁衍。

4 生命性检测器作为社会认知系统的功能嵌入性

主体和环境因素等领域的研究为生命性检测器的功能性嵌入提供了证据。经验、年龄、社会互动和重力环境等对生命性检测能力的影响，证明该模块并非孤立运作，而是在个体发育过程中作为核心组件深度嵌入社会认知系统，表现出可塑性与适应性微调。

4.1 主体因素的证据

4.1.1 经验的影响

人类观察者对人类运动比较敏感, 研究者使用点光源实验考察视觉经验和运动过程在人类动作感知中的作用, 发现运动经验和视觉经验共同决定了对人类动作的视觉敏感度, 即视觉经验会影响行人的身份感知(Jacobs et al., 2004)。在视觉系统发育的早期敏感阶段, 如若缺乏必要的视觉刺激, 将会对视觉功能的长期发展产生深远影响。即便后期通过手术恢复光感, 但诸如立体视觉、视觉特征整合及运动处理能力等高级视觉功能, 往往难以完全恢复至正常水平(McKyton et al., 2018; Zohary et al., 2018)。这展现了视觉系统发育过程中早期视觉输入的重要性, 也证实了可能存在一种先天机制用于检测和引导注意从而促进学习, 但可塑性和视觉经验在视觉功能发展中的作用也是显而易见的(例如, 区分面孔和非面孔, 识别面部表情)(Orlov et al., 2021; Gilad-Gutnick et al., 2019)。最近的一项研究也发现了过去经验在生命性感知中的作用, 实验使用旋转的点光源步行者(point-light walker, PLW)和处于行走姿势的三位旋转刚性人体模型(structure-from-motion, SFM), 发现旋转 PLW 的高反转率可能源于其不常见的运动形式, 当 PLW 沿着圆形移动即更加符合日常经验时, 反转频率大幅降低, 说明过往经验(如人通常沿路径行走而非原地旋转)会稳定感知。同时面向观察者的偏向(facing-the-viewer bias, FTV)依赖于可识别的正立人体运动, 且与过往经验(如常见行走方向)密切相关。研究支持生物运动感知与刚性 SFM 的感知机制存在差异, 生物运动的感知涉及更多的自上而下加工, 如注意分配和过去经验。这表明了过往经验对解决感知歧义的重要性, 同时为理解视觉系统处理动态信息的机制提供新的视角(Poom, 2025)。

4.1.2 年龄的增长和发育

年龄和发育过程也是影响生物运动感知的重要因素, 3 岁的婴儿能够很好地识别生物运动模式, 如行走的人、狗和鸟等, 且随着时间推移稳步提高, 5 岁的婴儿在生物运动识别任务中表现得更好。在此年龄以后, 生物运动检测能力表现稳定直到成年和老年(Norman et al., 2004; Pavlova et al., 2001)。然而, 一项关于 8~15 岁学童的研究发现了不一致的结果, 年龄是生物运动感知能力的

一个很重要的影响因素。尤其是 8~10 岁的儿童, 随着年龄的增长, 生物运动感知能力有所增加, 到 10 岁之后趋于稳定(Ghanouni, et al., 2015)。此外, Norman 等人(2024)评估了年龄对检测刚性和非刚性物体运动的视觉能力的潜在影响, 招募了青年(平均年龄为 19.9 岁)和老年观察者(平均年龄为 75.8 岁)各 30 名, 要求判断刚性运动和非刚性运动, 结果发现年龄的影响很大, 虽然老年人通常可以成功地区分刚性和非刚性物体运动, 但他们的区分表现明显低于年轻人。其灵敏度的整体下降是由于命中率的降低(检测刚性物体运动的可能性降低)和误报率的增加(未能将非刚性物体运动检测为非刚性)。该研究也是首个对衰老和非刚性物体运动感知的研究。

4.1.3 意识水平与跨模态之间的相互作用

在生命性感知过程中, 通常并非仅凭视觉独立完成, 而是依赖于多感觉整合, 感觉系统间的交互作用有助于提升感知的准确性与完整性。研究表明, 视觉-听觉的交互能有效整合两种模态的信息优势(Bulkin & Groh, 2006)。在日常生活中, 人类的大脑已经学会适应性地整合各种信息, 包括跨感官模态间具有不同模糊程度的语义关联, 一般认为需要意识的参与才能整合进而影响感知和行为(Mudrik et al., 2014)。但是近期有研究采用动态连续闪光抑制(dynamic continuous flash suppression, CFS)技术, 向被试呈现三个持续时间相同的点光源生物运动刺激(行走、划船、锯木)以及相应的同步化声音(行走的脚步声、划船时船桨在水中移动的节奏声、锯木时锯子切割木材的周期性声音), 并测量了同时出现的、语义匹配或不匹配的动作声音对视觉灵敏度的影响。实验结果发现在辨别生物运动时, 对视觉信息的依赖程度与语义匹配声音的影响存在有趣的权衡: 当基本的视觉检测受到严重影响时, 语义一致性成为跨模态促进的一个重要因素; 与此相反, 一旦基本的视觉检测成为可能, 即使没有明确的运动分类, 生物运动的专门处理通路也能有效运作。这表明, 即使在意识被成功抑制期间, 复杂刺激的某些方面, 特别是生物运动的语义内容和方向, 仍然可以用于跨模态交互。随着被试视觉检测能力的下降, 声音对视觉灵敏度的影响也在系统地增加。这些研究结果表明, 当视觉意识极弱或缺失时, 听觉和视觉信息之间的语义一致性可选择

性地调节生物运动感知,而更强大的视觉信号可使生物运动感知不受听觉输入的影响,揭示了生物运动处理中视觉意识与语义视听整合之间的相互作用(Ioannucci & Vetter, 2025)。

4.2 环境因素的证据

4.2.1 社会互动的调节

对生物运动的感知并非纯粹的自下而上的加工,而是受到社会互动的调节。作为一种社会动物,人类需要对朝向有着更好的感知加工能力,他人的面向方向在我们的社会交往中是一种非常重要的线索。比如,即使在没有面部信息的情况下,仅从生物体的运动模式中,也能轻易判断出该个体的朝向,哪怕这些动作仅仅是由一些运动点来表现的(Bertenthal & Pinto, 1994)。与非互动状态的人相比,人们对两个互动中的个体的动态显示进行视觉搜索时的检测速度更快,工作记忆效率也更高(Papeo et al., 2019)。在互动的个体之间,这种动态显示的互动性能够有效缩短感知所需的时间,并缩小感知距离(Vestner et al., 2019)。Han 等人(2021)通过操纵与社交密切相关的三个因素:距离、大小和速度,结果发现当刺激越近、越大、越快时,被试越容易将这个人看成是面向自己的。一个人离我们越近,就越可能与我们发生社会互动。一个人越大,他可能造成的社交后果就越严重。一个人走得越快,留给人们反应的时间就越短。这表明,一个朝向被试的个体在社会互动中具有更高的潜在价值和更重要的意义,因此进化的力量使人类的知觉系统优先知觉到面向被试的人,使人类能够尽快对社交场景做出回应,从而避免因将其错判为背向而带来可能的不利后果。换言之,如果一个人与社会交往的潜在相关性越高,那么观察者就越容易将其感知为面向自己。这一发现同时也为解释两可知觉中的高级认知影响提供了新的证据(Han et al., 2021)。

4.2.2 重力环境的塑造

人类感知系统在微重力环境中存在适应性的可塑性。在地球上,生命体的运动受到地球重力的制约。而人类对符合重力作用的生物运动具有特殊的敏感性,具体表现为:观察者仅仅依靠几个附着于运动个体关节上的光点,就能探测到生命体的存在,并从中提取与生存及社会交互相关的信息;有趣的是,当光点生物运动刺激倒置呈现,其运动模式不再符合重力作用的影响时,人

们对其感知就会显著变差(Troje & Westhoff, 2006; Vallortigara & Regolin, 2006)。这种由视觉重力线索驱动的、对特定朝向的知觉敏感性,可能反映了生命体在地球重力环境中发展出的一种具有进化意义的适应性机制。然而,关于人类的微重力暴露是否会影响这种视觉感知中的朝向依赖效应(Orientation-Dependent Effect),此前并无一致的结论。

通过航天实验,研究者发现暴露于太空失重环境约一周之后,航天员生物运动知觉的倒置效应显著降低,且该效应在个体间具有高度的一致性,提示地球重力环境对于维持人类对生物运动信息的朝向特异敏感性至关重要。在正常地球重力条件下,不论个体是在模拟航天任务的幽闭环境中反复进行生物运动知觉测试,还是在实验室中进行多次测试,都不会表现出生物运动知觉倒置效应的减弱,这一结果有力地证明,是太空失重而非其他重力无关因素(如幽闭环境或重复测试)导致了航天实验中的变化。该研究更深入地揭示了地球重力环境之于人类认知功能的意义:地心引力不但影响人类自身的活动,还通过施加于身体的重力信号影响人们对包含重力加速度线索的其他生命体运动的加工,从而塑造了人脑对符合地球重力作用的视觉生物运动所特有的敏感性(Wang et al., 2022)。

5 总结与展望

动物通常基于某些特征去感知生命性,这在生存、社会交往等方面具有重要作用。虽然LDH在跨物种间的平行结果中很早就被提出,但是关于其概念机制及存在证据缺乏系统描述(Johnson, 2006; Troje & Westhoff, 2006)。本文独特的理论贡献是通过系统论证,并从多维度汇集了支持证据。相较于近期主要聚焦于生物运动感知的综述(Shen et al., 2025; Troje & Chang, 2023),我们提出了作为一个内嵌的核心认知模块的ADH。在解释范围的广度上实现了从动态线索到动静整合的拓展。这使得ADH能够解释更广泛的生命性感知现象,弥补了原有理论在解释范围上的空隙,提供了一个更具普遍性的初级感知模型。在理论阐释的深度上实现了从机制描述到架构定位的深化。本文并未止步于论证一个进化上硬连线的检测器存在,而是将生命性检测器定位为符合核心

知识特征的内嵌认知模块。本文从先天性、领域特定性、封装性及其对社会认知系统的奠基性等多个相互关联的属性出发,进行了比以往更为系统的证据整合与理论构建,主要从发生学、主体与环境因素系统回顾了生命性检测器内嵌性机制的证据。这不仅仅是在描述一个机制,更是在阐明该机制在心智乃至大脑功能架构中的特定地位与角色,从而深化了对生命性感知内嵌性本质的理解。但目前仍存在争议及研究空白,未来关于生命性检测器的研究还需深入探讨以下问题。

5.1 生命性偏好证据的不可重复性

如前所述,内嵌的ADH的合理性主要依赖于各类生命性偏好证据,但这些证据的不稳定性与不可重复性给该假说带来了挑战。人类的注意系统倾向于优先处理那些能够促进适应性行为的信息,特别是赋予生命性物体以更高的关注优先级,即所谓“生命性优势”(animacy advantage) (New et al., 2007)。然而, Hagen 等(2018)通过一系列严谨的视觉追踪实验发现,动物并没有在人类注意系统中获得优先权,所谓的“生命体监测优势”即使存在,其影响也远小于此前认为的那么重要。Cox 等(2022, 2024)的近期研究同样提出了挑战,他们研究了生命性特征是否会对视觉统计学习能力,即个体从纷繁复杂、动态变化的环境中辨识并提取规律的能力产生影响。研究结果显示,无论物体是否具有生命性,个体的视觉统计学习能力并未表现出显著差异。未来应探索生命性感知和注意偏好是否为两个不同但相关的过程。动态是生命性的核心特征,可能比静态图片更能激活相关的认知机制,未来可以考虑使用动态实验刺激,如生物运动点光源动画或视频,考察其是否会引发视觉统计学习的优势。此外, Lemaire (2020)的研究则从动物行为学的角度,对雏鸡生命性感知的偏好提出了质疑。他选用了蓝色的三维倾斜立方体作为刺激源,通过操控旋转速度(缓慢与快速)来观察雏鸡的反应。然而,雏鸡并未展现出对旋转速度快慢的任何明确偏好,接着研究又控制刺激的形状和视频播放的频率,采用了更为贴近生物形态的形式,以期模拟鸟类在自然环境中对动态场景的感知方式。结果发现,雏鸡表现出了一种对快速移动物体的偏好。未来可以考虑使用动画技术创建更复杂的运动轨迹,模拟昆虫、小动物的真实运动模式,系统独立地控制运动速

度、形状复杂程度等对生命性感知的贡献量。

5.2 生命性检测器内嵌性机制进化和环境的贡献

生命性检测器内嵌性机制分别受进化和环境的影响程度如何?目前仍不明确。尽管本文已汇集了来自多种生物的证据——从无脊椎动物(如软体动物和昆虫)到脊椎动物(如鱼类、鸟类和哺乳类)——均显示出对生命性信息的视觉偏好(Lorenzi et al., 2017; Ma et al., 2022; Rosa-Salva et al., 2018)。跨物种研究揭示的保守性与特异性并存的模式,为理解生命性检测器的进化轨迹提供了关键线索。同时,通过梳理在后天作用下影响生命性感知的因素,如个体的过往经验、意识水平以及社会互动和重力环境等(Han et al., 2021; Ioannucci & Vetter, 2025; Wang et al., 2022),我们据此推测生命性检测器的内嵌性机制是通过进化获得的,但是生命性感知的能力会在后天环境中得到一定的塑造。未来研究需要更加深入地探究引发生命性感知受遗传因素的影响程度及生命性检测器在生物界的不同物种具体演化过程,以期对生命性检测器在生物演化过程有一个全局的认识,揭示进化的保守性。此外,后天环境对生命性感知的能力有一定的塑造,但是具体受哪些因素影响,影响程度如何等目前还不清楚。未来可通过追踪个体从新生儿到成年期的生物运动感知能力发展,分析关键运动特征的习得过程,进而系统揭示生物运动识别能力受生理成熟与外界环境共同影响的机制,并全面总结其发展规律。

5.3 多感觉通道信息的作用及其脑机制

未来需探索多感觉通道信息在生命性感知中的作用及其脑机制。现有研究主要聚焦于大脑中对包含生命性的视觉线索的表征及反应区域,例如SC、VLN等脑区(Chang et al., 2018; Lorenzi et al., 2017)。然而,这些研究往往局限于视觉感知这一单一维度,忽视了非视觉线索(诸如声音、气味、触感等)在生命性感知中的潜在作用及其神经机制。事实上,现有研究已经发现动物对某些非视觉信息会产生偏好,例如雏鸡会表现出对辅音的偏好(Chiandetti & Vallortigara, 2011; Maldarelli et al., 2024),这有助于引导刚出壳的雏鸡区分生命体与非生命体。此外,近期研究表明,时间同步的声音线索能够显著增强对生物运动信息的视觉搜索能力,这揭示了在生命性感知过程中多感官线索之间存在交互作用(Shen et al., 2023)。这些发

现均证明其他感觉通道的加工与生命性感知也存在联系。因此,未来应全面评估听觉等多感官线索与视觉线索在生命性感知中的相互作用,探讨生命体固有的气味、触感等是否同样构成了生命性感知的首要线索,从而进一步运用先进的神经影像技术和行为实验手段,详尽地探究多感官线索引发的生命性感知以及激活的不同神经区域。同时,需要阐明这些与加工生命性线索紧密相关的脑结构在生命性感知中的具体作用,从而对生命性感知的认知神经机制进行更为全面、深入地阐释,为相关领域的研究提供新的视角与见解。

5.4 在精神疾病的早期诊断与干预治疗中的应用

揭示生命性检测器的原理和认知神经机制对于某些神经精神疾病的早期诊断与干预治疗具有一定的应用价值。关于生命性感知能力与社会认知之间的关系,在神经发育障碍如自闭症谱系障碍(autism spectrum disorder, 以下简称 ASD)和注意缺陷与多动障碍(attention deficit and hyperactive disorder, 以下简称 ADHD)等群体的研究中得到证明。研究发现 ASD 和 ADHD 患者的生命性感知能力受损(刘佳 等, 2021),且会对社交功能造成损害(Peristeri et al., 2023; Tian et al., 2024)。生命性检测器作为一种先天机制,在视觉发育阶段引导刺激的输入,并促使某些线索偏好的形成。因此,相关患者的生命性检测器可能在发育初期出现异常。基于这一假设,未来可尝试通过生命性检测技术(例如展示面孔或者生物运动刺激)实现对这些疾病的早期诊断,以便进行及时的心理和社会干预。鉴于 ASD 等社交障碍患者通常很难在 2~3 岁之前诊断出来,而生物运动刺激等视觉信息可被较小的婴儿感知,因此这项技术具有较好的应用前景。事实上,已有初步研究验证了这一方法的可行性,研究者利用此类方法测试了 ASD 高风险婴儿(即存在 ASD 家族史的婴儿)。结果发现,这些新生儿的生命性检测能力似乎存在缺陷。相较于正常婴儿,ASD 高风险婴儿对生命性信息即时且稳定的注意偏向能力存在损伤(Yang et al., 2024),偏好形成存在延迟甚至会影响母婴间的正常互动(Di Giorgio, Rosa-Salva et al., 2021)。这些结果提示,社交互动能力的缺陷可能与某些生命性特征的加工异常有关。因此,有必要进一步探索视觉发育的“敏感期”,即婴儿在生命早期的第几个月是接收相关刺激并发展的敏感

期,并据此构建相应的刺激训练(例如展示生物运动刺激),测试相关缺陷是否可以通过这一训练得到改善。此外,随着人工智能与认知增强科技的发展,虚拟现实(VR)和社交辅助机器人等先进技术逐渐被广泛应用,未来如果能够将“生命性检测器”这一机制内嵌进去,有助于为上述人群症状的诊断与治疗带来新的可能性。

致谢: 对参与本文初稿写作讨论的刘妍丽、罗盈盈、马欢欢等同学谨致谢忱!

参考文献

- 陈巍,董达,郭本禹. (2026). *理论心理学: 认知科学的视角*. 华东师范大学出版社.
- 董达,陈巍. (2025). 人不是物: 社会认知的稽古维新. *心理学报*, 57(1), 173-189.
- 黄梅,杨格晴,王莹,蒋毅. (2023). 基于动态线索感知生命性的认知神经机制. *心理科学进展*, 31(8), 1460-1476.
- 刘佳,胡金生,江宏君,刘莹. (2021). 孤独症谱系障碍者基于运动线索的生命知觉. *心理科学*, 44(4), 1012-1017.
- Abdai, J. (2025). Perception of animate motion in dogs. *Frontiers in Psychology*, 15, 1522489.
- Abdai, J., Ucheddu, S., Gácsi, M., & Miklósi, Á. (2022). Exploring the advantages of using artificial agents to investigate animacy perception in cats and dogs. *Bioinspiration & Biomimetics*, 17(6), 065009.
- Aflalo, T., Chivukula, S., Zhang, C., Rosario, E. R., Pouratian, N., & Andersen, R. A. (2022). Cognition through internal models: Mirror neurons as one manifestation of a broader mechanism [Preprint]. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2022.09.06.506071>
- Altman, M. N., Khislavsky, A. L., Coverdale, M. E., & Gilger, J. W. (2016). Adaptive attention: How preference for animacy impacts change detection. *Evolution and Human Behavior*, 37(4), 303-314.
- Bailey, R. L., & Lang, A. (2022). The importance of being animate: Information selection as a function of dynamic human-environment interactions. *Frontiers in Psychology*, 13, 923808.
- Barber, O., Somogyi, E., McBride, E. A., & Proops, L. (2023). Exploring the role of aliveness in children's responses to a dog, biomimetic robot, and toy dog. *Computers in Human Behavior*, 142, 107660.
- Behrmann, M., & Avidan, G. (2022). Face perception: Computational insights from phylogeny. *Trends in Cognitive Sciences*, 26(4), 350-363.
- Ben-Ami, S., Gupta, P., Yadav, M., Shah, P., Talwar, G., Paswan, S., ... Sinha, P. (2022). Human (but not animal) motion can be recognized at first sight—After treatment for

- congenital blindness. *Neuropsychologia*, 174, 108307.
- Bertenthal, B. I., & Pinto, J. (1994). Global processing of biological motions. *Psychological Science*, 5(4), 221–225.
- Bliss, L., Vasas, V., Freeland, L., Roach, R., Ferrè, E.R., & Versace, E. (2023). A spontaneous gravity prior: Newborn chicks prefer stimuli that move against gravity. *Biology Letters*, 19(2), 20220502.
- Boch, M., Wagner, I. C., Karl, S., Huber, L., & Lamm, C. (2023). Functionally analogous body- and animacy-responsive areas are present in the dog (*Canis familiaris*) and human occipito-temporal lobe. *Communications Biology*, 6(1), 645.
- Bonin, P., Gelin, M., & Bugajska, A. (2014). Animates are better remembered than inanimates: Further evidence from word and picture stimuli. *Memory & Cognition*, 42(3), 370–382.
- Bulkin, D. A., & Groh, J. M. (2006). Seeing sounds: Visual and auditory interactions in the brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 16(4), 415–419.
- Carey, S. (2011). Précis of ‘the origin of concepts’. *The Behavioral and Brain Sciences*, 34(3), 113–162.
- Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. Oxford University Press.
- Carey, S., & Spelke, E. (1996). Science and core knowledge. *Philosophy of Science*, 63(4), 515–533.
- Chang, D. H., & Troje, N. F. (2008). Perception of animacy and direction from local biological motion signals. *Journal of Vision*, 8(5), 1–10.
- Chang, D. H. F., Ban, B., Ikegaya, Y., Fujita, I., & Troje, N. F. (2018). Cortical and subcortical responses to biological motion. *NeuroImage*, 174, 87–96.
- Chang, D. H. F., Troje, N. F., Ikegaya, Y., Fujita, I., & Ban, H. (2021). Spatiotemporal dynamics of responses to biological motion in the human brain. *Cortex*, 136, 124–139.
- Cheng, Y., Yuan, X., & Jiang, Y. (2023). Eye pupil signals life motion perception. *Attention, Perception & Psychophysics*, 86(2), 579–586.
- Chiandetti, C., & Vallortigara, G. (2011). Chicks like consonant music. *Psychological Science*, 22(10), 1270–1273.
- Cox, J. A., Cox, T. W., & Aimola, D. A. M. (2022). Are animates special? Exploring the effects of selective attention and animacy on visual statistical learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 75(9), 1746–1762.
- Cox, J. A., Wu, Y., & Aimola Davies, A. M. (2024). Does animacy affect visual statistical learning? Revisiting the effects of selective attention and animacy on visual statistical learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 77(3), 492–510.
- De Agrò, M., Röbler, D. C., Kim, K., & Shamble, P. S. (2021). Perception of biological motion by jumping spiders. *PLoS Biology*, 19(7), e3001172.
- De Agrò, M., Winsor, A. M., Walsh, W., Shamble, P., & Jakob, E. (2025). Biological point-light displays scanning by the principal eyes of a jumping spider [Preprint]. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2025.06.23.661007>
- Deng, W., Sargent, B., Havens, K., Vanderbilt, D., Rosales, M., Pulido, J. C., ... Smith, B. A. (2023). Correlation between performance and quantity/variability of leg exploration in a contingency learning task during infancy. *Infant Behavior and Development*, 70, 101788.
- Di Giorgio, E., Lunghi, M., Simion, F., & Vallortigara, G. (2017). Visual cues of motion that trigger animacy perception at birth: The case of self-propulsion. *Developmental Science*, 20(4), 10.
- Di Giorgio, E., Lunghi, M., Vallortigara, G., & Simion, F. (2021). Newborns’ sensitivity to speed changes as a building block for animacy perception. *Scientific Reports*, 11(1), 542.
- Di Giorgio, E., Rosa-Salva, O., Frasnelli, E., Calcagni, A., Lunghi, M., Scattoni, M. L., ... Vallortigara, G. (2021). Abnormal visual attention to simple social stimuli in 4-month-old infants at high risk for Autism. *Scientific Reports*, 11(1), 15785.
- Duarte, J. V., Abreu, R., & Castelo-Branco, M. (2022). A two-stage framework for neural processing of biological motion. *NeuroImage*, 259(5), 119403.
- Farkas, E. B., Hernández-Pérez, R., Cuaya, L. V., Rojas-Hortelano, E., Gácsi, M., & Andics, A. (2024). Comparative fMRI reveals differences in the functional organization of the visual cortex for animacy perception in dogs and humans [Preprint]. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.7554/eLife.104525.1>
- Farroni, T., Menon, E., & Johnson, M. H. (2006). Factors influencing newborns’ preference for faces with eye contact. *Journal of Experimental Child Psychology*, 95(4), 298–308.
- Gilad-Gutnick, S., Kurian, G., Gupta, P., Tiwari, K., Shah, P., Raja, S., ... Sinha, P. (2019). Development of facial expression recognition following extended blindness: The importance of motion. *Journal of Vision*, 19(10), 21a.
- Ghanouni, P., Memari, A. H., Shayestehfar, M., Moshayedi, P., Gharibzadeh, S., & Ziaee, V. (2015). Biological motion perception is affected by age and cognitive style in children aged 8-15. *Neurology Research International*, 2015, 594042.
- Hagen, T., Espeseth, T., & Laeng, B. (2018). Chasing animals with split attention: Are animals prioritized in visual tracking? *i-Perception*, 9(5), 2041669518795932.
- Han, Q., Wang, Y., Jiang, Y., & Bao, M. (2021). The relevance to social interaction modulates bistable biological-motion perception. *Cognition*, 209, 104584.
- Han, Y., Han, W., Li, L., Zhang, T., & Wang, Y. (2023). Identifying critical kinematic features of animate motion and contribution to animacy perception. *iScience*, 26(9), 107658.

- Heider, F., & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *The American Journal of Psychology*, 57(2), 243–259.
- Hirai, M., & Senju, A. (2020). The two-process theory of biological motion processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 111(19), 114–124.
- Hume, D. (2007). *The natural history of religion* (T. H. Green & T. H. Grose, Eds.). Oxford University Press. (Original work published 1779)
- Ichwansyah, R., Onda, K., Egawa, J., Matsuo, T., Suzuki, T., Someya, T., ... Kawasaki, K. (2024). Animacy processing by distributed and interconnected networks in the temporal cortex of monkeys. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 18, 1478439.
- Ioannucci, S., & Vetter, P. (2025). Semantic audio-visual congruence modulates visual sensitivity to biological motion across awareness levels. *Cognition*, 262, 106181.
- Jacobs, A., Pinto, J., & Shiffrar, M. (2004). Experience, context, and the visual perception of human movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(5), 822–835.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14(2), 201–211.
- Johnson, M. H. (2005). Subcortical face processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 766–774.
- Johnson, M. H. (2006). Biological motion: A perceptual life detector? *Current Biology*, 16(10), R376–R377.
- Jörges, B., & López-Moliner, J. (2017). Gravity as a strong prior: Implications for perception and action. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 203.
- Kobylykov, D., Rosa-Salva, O., Zanon, M., & Vallortigara, G. (2024). Innate face-selectivity in the brain of young domestic chicks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121(40), e2410404121.
- Kominsky, J. F., Li, Y., & Carey, S. (2022). Infants' attributions of insides and animacy in causal interactions. *Cognitive Science*, 46(1), e13087.
- Kuraoka, K., & Nakamura, K. (2025). Differential and temporally dynamic involvement of primate amygdala nuclei in face reality and reward information processing. *Journal of Neuroscience*, 45(49), e0093242025.
- Larsch, J., & Baier, H. (2018). Biological motion as an innate perceptual mechanism driving social affiliation. *Current Biology*, 28(22), 3523–3532.
- Lemaire, B. S. (2020). No evidence of spontaneous preference for slowly moving objects in visually naïve chicks. *Scientific Reports*, 10(1), 6277.
- Lemaire, B. S., & Vallortigara, G. (2023). Life is in motion (through a chick's eye). *Animal Cognition*, 26(1), 129–140.
- Lisboa, I. C., Basso, D. M., Santos, J. A., & Pereira, A. F. (2022). Three-months-old' preferences for biological motion configuration and its subsequent decline. *Brain Sciences*, 12(5), 566.
- Lorenzi, E., Mayer, U., Rosa-Salva, O., & Vallortigara, G. (2017). Dynamic features of animate motion activate septal and preoptic areas in visually naïve chicks (*Gallus gallus*). *Neuroscience*, 354, 54–68.
- Lorenzi, E., Nadalin, G., Morandi-Raikova, A., Mayer, U., & Vallortigara, G. (2024). Noncortical coding of biological motion in newborn chicks' brain. *Cerebral Cortex*, 34(6), bhae262.
- Lorenzi, E., & Vallortigara, G. (2021). Evolutionary and neural bases of the sense of animacy. In A. B. Kaufman, J. Call & J. C. Kaufman (Eds.), *The Cambridge handbook of animal cognition* (pp. 295–321). Cambridge University Press.
- Lu, X., Hu, Z., Xin, Y., Yang, T., Wang, Y., Zhang, P., Liu, N., & Jiang, Y. (2024). Detecting biological motion signals in human and monkey superior colliculus: A subcortical-cortical pathway for biological motion perception. *Nature Communications*, 15(1), 9606.
- Lunghi, M., & Di Giorgio, E. (2024). I like the way you move: How animate motion affects visual attention in early human infancy. *Frontiers in Neuroscience*, 18, 1459550.
- Ma, X., Yuan, X., Liu, J., Shen, L., Yu, Y., Zhou, W., ... Jiang, Y. (2022). Gravity-dependent animacy perception in zebrafish. *Research*, 2022, 9829016.
- Maldarelli, G., Dissegna, A., Ravignani, A., & Chiandetti, C. (2024). Chicks produce consonant, sometimes jazzy, sounds. *Biology Letters*, 20(9), 20240374.
- Matsuda, G., Ishiguro, H., & Hiraki, K. (2015). Infant discrimination of humanoid robots. *Frontiers in Psychology*, 6, 1397.
- Mayer, U., Rosa-Salva, O., Loveland, J. L., & Vallortigara, G. (2019). Selective response of the nucleus taeniae of the amygdala to a naturalistic social stimulus in visually naïve domestic chicks. *Scientific Reports*, 9(1), 9849.
- McKyton, A., Ben-Zion, I., & Zohary, E. (2018). Lack of automatic imitation in newly sighted individuals. *Psychological Science*, 29(2), 304–310.
- Mezrai, N., Arduini, L., Dickel, L., Chiao, C. C., & Darmaillacq, A. S. (2020). Awareness of danger inside the egg: Evidence of innate and learned predator recognition in cuttlefish embryos. *Learning & Behavior*, 48(4), 401–410.
- Michotte, A. (1950). The emotions regarded as functional connections. In M. Reymert (Ed.), *Feelings and emotions: The Mooseheart symposium* (pp.114–125). New York: McGraw-Hill. Reprinted in Thinès, G., Costall, A., and Butterworth, G. (Eds.), *Michotte's experimental phenomenology of perception* (pp. 103–116). Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1991.
- Mitra, S., Namazifard, S., Bellini, D. M., Sarne, A. L., Halder, B., Eisenbrandt, M. R., ... Dewell, R. B. (2026).

- To jump or not to jump: Comparing effects of phenotypic plasticity on the visual responses and escape behavior of locusts and grasshoppers. *Journal of Neurophysiology*, 135(1), 312–323.
- Morton, J., & Johnson, M. H. (1991). CONSPEC and CONLERN: A two-process theory of infant face recognition. *Psychological Review*, 98(2), 164–181.
- Mudrik, L., Faivre, N., & Koch, C. (2014). Information integration without awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(9), 488–496.
- Nakayasu, T., & Watanabe, E. (2014). Biological motion stimuli are attractive to medaka fish. *Animal Cognition*, 17(3), 559–575.
- Nes, A. (2023). Perception needs modular stimulus-control. *Synthese*, 201, 188.
- New, J., Cosmides, L., & Tooby, J. (2007). Category-specific attention for animals reflects ancestral priorities, not expertise. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(42), 16598–16603.
- Norman, J. F., Payton, S. M., Long, J. R., & Hawkes, L. M. (2004). Aging and the perception of biological motion. *Psychology and Aging*, 19(1), 219–225.
- Norman, J. F., Ramirez, A. B., Bryant, E. N., Adcock, P., Parekh, H., Brase, A. M., & Peterson, R. D. (2024). Aging and the visual perception of rigid and nonrigid motion. *Scientific Reports*, 14(1), 27657.
- Orlov, T., Raveh, M., McKyton, A., Ben-Zion, I., & Zohary, E. (2021). Learning to perceive shape from temporal integration following late emergence from blindness. *Current Biology*, 31(14), 3162–3167.e5.
- Papeo, L., Goupil, N., & Soto-Faraco, S. (2019). Visual search for people among people. *Psychological Science*, 30(10), 1483–1496.
- Pavlova, M., Krägeloh-Mann, I., Sokolov, A., & Birbaumer, N. (2001). Recognition of point-light biological motion displays by young children. *Perception*, 30(8), 925–933.
- Peristeri, E., Andreou, M., Ketseridou, S. N., Machairas, I., Papadopoulou, V., Stravoravdi, A. S., Bamidis, P. D., & Frantzidis, C. A. (2023). Animacy processing in autism: Event-related potentials reflect social functioning skills. *Brain Sciences*, 13(12), 1656.
- Poom, L. (2025). Dynamics of visual reversals from ambiguous spinning biological-motion and rigid structure-from-motion. *I-Perception*, 16(3), 1–22.
- Portugal, A. M., Viktorsson, C., Taylor, M. J., Mason, L., Tammimies, K., Ronald, A., & Falck-Ytter, T. (2024). Infants' looking preferences for social versus non-social objects reflect genetic variation. *Nature Human Behaviour*, 8(1), 115–124.
- Pratt, J., Radulescu, P. V., Guo, R. M., & Abrams, R. A. (2010). It's alive! Animate motion captures visual attention. *Psychological Science*, 21(11), 1724–1730.
- Rajendran, S. S., Bottari, D., Shareef, I., Pitchaimuthu, K., Sourav, S., Troje, N. F., Kekunnaya, R., & Röder, B. (2020). Biological action identification does not require early visual input for development. *eNeuro*, 7(5), ENEURO.0534-19.2020.
- Rosa-Salva, O., Grassi, M., Lorenzi, E., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2016). Spontaneous preference for visual cues of animacy in naïve domestic chicks: The case of speed changes. *Cognition*, 157, 49–60.
- Rosa-Salva, O., Hernik, M., Broseghini, A., & Vallortigara, G. (2018). Visually-naïve chicks prefer agents that move as if constrained by a bilateral body-plan. *Cognition*, 173, 106–114.
- Rosa-Salva, O., Hernik, M., Fabbroni, M., Lorenzi, E., & Vallortigara, G. (2023). Naïve chicks do not prefer objects with stable body orientation, though they may prefer behavioural variability. *Animal Cognition*, 26(4), 1177–1189.
- Rosa-Salva, O., Mayer, U., & Vallortigara, G. (2015). Roots of a social brain: Developmental models of emerging animacy-detection mechanisms. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 50, 150–168.
- Rosa-Salva, O., Mayer, U., Versace, E., Hébert, M., Lemaire, B. S., & Vallortigara, G. (2021). Sensitive periods for social development: Interactions between predisposed and learned mechanisms. *Cognition*, 213, 104552.
- Scholl, B. J., & Gao, T. (2013). Perceiving animacy and intentionality: Visual processing or higher-level judgment? In M. D. Rutherford & V. A. Kuhlmeier (Eds.), *Social perception: Detection and interpretation of animacy, agency, and intention* (pp. 197–229). Boston Review.
- Scholl, B. J., & Tremoulet, P. D. (2000). Perceptual causality and animacy. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(8), 299–309.
- Shen, L., Lu, X., Wang, Y., & Jiang, Y. (2023). Audiovisual correspondence facilitates the visual search for biological motion. *Psychonomic Bulletin & Review*, 30(6), 2272–2281.
- Shen, L., Yang, X., Jiang, Y., & Wang, Y. (2025). Understanding biological motion through the lens of animate motion processing. *Frontiers in Psychology*, 16, 1630742.
- Shultz, S., & McCarthy, G. (2014). Perceived animacy influences the processing of human-like surface features in the fusiform gyrus. *Neuropsychologia*, 60(1), 115–120.
- Simion, F., Di Giorgio, E., Leo, I., & Bardi, L. (2011). The processing of social stimuli in early infancy: From faces to biological motion perception. *Progress in Brain Research*, 189, 173–193.
- Simion, F., Regolin, L., & Bulf, H. (2008). A predisposition for biological motion in the newborn baby. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(2), 809–813.
- Sommer, K., Redshaw, J., Slaughter, V., Wiles, J., & Nielsen, M. (2021). The early ontogeny of infants' imitation of on screen humans and robots. *Infant Behavior and*

- Development*, 64, 101614.
- Sommer, K., Slaughter, V., Wiles, J., Owen, K., Chiba, A. A., Forster, D., ... Nielsen, M. (2021). Can a robot teach me that? Children's ability to imitate robots. *Journal of Experimental Child Psychology*, 203, 105040.
- Sugita, Y. (2008). Face perception in monkeys reared with no exposure to faces. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(1), 394–398.
- Tian, J., Yang, F., Wang, Y., Wang, L., Wang, N., Jiang, Y., & Yang, L. (2024). Atypical local and global biological motion perception in children with attention deficit hyperactivity disorder. *eLife*, 12, RP90313.
- Triantafyllidis, A., Alexiadis, A., Votis, K., & Tzovaras, D. (2023). Social robot interventions for child healthcare: A systematic review of the literature. *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, 3, 100108.
- Troje, N. F., & Chang, D. H. F. (2013). Shape-independent processing of biological motion. In K. L. Johnson & M. Shiffrar (Eds.), *People watching: Social, perceptual, and neurophysiological studies of body perception* (pp. 82–100). Oxford University Press.
- Troje, N. F., & Chang, D. H. F. (2023). Life detection from biological motion. *Current Directions in Psychological Science*, 32(1), 26–32.
- Troje, N. F., & Westhoff, C. (2006). The inversion effect in biological motion perception: Evidence for a “life detector”? *Current Biology*, 16(8), 821–824.
- Troje, N. F., Westhoff, C., & Lavrov, M. (2005). Person identification from biological motion: Effects of structural and kinematic cues. *Perception & Psychophysics*, 67(4), 667–675.
- Vallortigara, G. (2012). Aristotle and the chicken: Animacy and the origins of beliefs. In A. Fasolo (eds.), *The theory of evolution and its impact* (pp. 189–199). Springer, Milano.
- Vallortigara, G. (2021). *Born knowing: Imprinting and the origins of knowledge*. MIT Press.
- Vallortigara, G., & Regolin, L. (2006). Gravity bias in the interpretation of biological motion by inexperienced chicks. *Current Biology*, 16(8), PR279–R280.
- Vallortigara, G., Regolin, L., & Marconato, F. (2005). Visually inexperienced chicks exhibit spontaneous preference for biological motion patterns. *PLoS Biology*, 3(7), e208.
- Versace, E., Fracasso, I., Baldan, G., Dalle Zotte, A., & Vallortigara, G. (2017). Newborn chicks show inherited variability in early social predispositions for hen-like stimuli. *Scientific Reports*, 7, 40296.
- Vestner, T., Tipper, S. P., Hartley, T., Over, H., & Rueschemeyer, S. A. (2019). Bound together: Social binding leads to faster processing, spatial distortion, and enhanced memory of interacting partners. *Journal of Experimental Psychology: General*, 148(7), 1251–1268.
- Völter, C. J., & Huber, L. (2022). Pupil size changes reveal dogs' sensitivity to motion cues. *iScience*, 25(9), 104801.
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2003). Distinct spatial frequency sensitivities for processing faces and emotional expressions. *Nature Neuroscience*, 6(6), 624–631.
- Wang, L., Wang, Y., Xu, Q., Liu, D., Ji, H., Yu, Y., Hu, Z., Yuan, P., & Jiang, Y. (2020). Heritability of reflexive social attention triggered by eye gaze and walking direction: Common and unique genetic underpinnings. *Psychological Medicine*, 50(3), 475–483.
- Wang, Y., Wang, L., Xu, Q., Liu, D., Chen, L., Troje, N. F., He, S., & Jiang, Y. (2018). Heritable aspects of biological motion perception and its covariation with autistic traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(8), 1937–1942.
- Wang, Y., Zhang, X., Wang, C., Huang, W., Xu, Q., Liu, D., Zhou, W., Chen, S., & Jiang, Y. (2022). Modulation of biological motion perception in humans by gravity. *Nature Communications*, 13(1), 2765.
- Yang, G., Wang, Y., & Jiang, Y. (2024). Social perception of animacy: Preferential attentional orienting to animals links with autistic traits. *Cognition*, 251, 105900.
- Zohary, E., Zion, I. B., Schreiber, C., & McKyton, A. (2018). Impairment of “vision for action” functions in the newly sighted, following early-onset and prolonged visual deprivation. *Journal of Vision*, 18(10), 183–183.

The animacy detectors: The embeddedness of animacy perception

ZHAO Peiqiong^{1,2}, DONG Yanxin¹, CHEN Guanchu¹, WEN Junsheng³,
YIN Jun⁴, CHEN Wei^{1,2}, DONG Da^{1,2}

(¹ Department of Psychology, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

(² Center for Brain, Mind and Education, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

(³ Guangzhou Institutes of Biomedicine and Health, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510530, China)

(⁴ Department of Psychology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Whether animacy perception is embedded as an innate cognitive mechanism shaped by

evolutionary adaptation is a central question in contemporary research on biological motion. The life detector hypothesis (LDH) focuses exclusively on dynamic cues. Given that static cues can also elicit animacy perception, it is necessary to extend this framework by proposing and defending an animacy detectors hypothesis (ADH). According to this view, cognitive agents possess an embedded core cognitive module that contains sensory filters sensitive to features of living beings. This module can simultaneously process dynamic and static cues, thereby perceiving external objects as animate entities, and provides a cognitive foundation for higher-level social cognition and its development. Evidence from ontogeny, comparative psychology, evolutionary biology, intersubjective factors (e.g., experience, maturation, level of consciousness and cross-modal interactions), and environmental factors (e.g., social interaction and gravity environment) increasingly supports the possibility that such animacy detectors are embedded. Future research should more thoroughly investigate how the embedded mechanisms of the animacy detector are acquired, delineate the stages of processing involved, clarify the role of multisensory integration in animacy perception, and elucidate the underlying neural and cognitive architectures. Moreover, impairments in animacy perception observed among children with various neurodevelopmental disorders may serve as potential biological markers for these conditions.

Keywords: biological motion, animacy perception, life detector, animacy detectors, embeddedness, core knowledge