

视觉审美：从哲学到神经奖赏回路的相关机制

康之乐, 梁 沛

湖北大学, 湖北 武汉

收稿日期: 2021年9月15日; 录用日期: 2021年11月24日; 发布日期: 2021年12月6日

摘 要

近年来研究者们通过神经影像技术研究人类大脑, 打破了对传统视觉审美假说的理解, 提供了直接的大脑审美生理活动证据。神经生理数据表明审美不是评估物体的一个独立的神经生物学过程, 更可能是一个神经网络系统, 它以奖赏回路为中心来评估物体的知觉享乐价值, 启动审美对象的愉悦体验, 腹侧纹状体是这一过程的关键调节点。此外, 基于奖赏回路的审美机制可以为视觉审美神经网络模型提供新思路, 拓展人工智能与脑科学结合的技术应用。

关键词

视觉审美, 奖赏回路, 享乐价值, 影像技术, 人工智能

Visual Aesthetics: From Philosophy to Neural Reward Circuit Related Mechanisms

Zhile Kang, Pei Liang

Hubei University, Wuhan Hubei

Received: Sep. 15th, 2021; accepted: Nov. 24th, 2021; published: Dec. 6th, 2021

Abstract

In recent years, researchers have used neuroimaging technology to study the human brain, breaking the understanding of the traditional visual aesthetic hypothesis and providing direct evidence of the brain's physiological responses. Neurophysiological data indicate that aesthetics is not an independent neurobiological process of evaluating objects, but more likely a neural network system. It evaluates the perceptual hedonic value of objects with the reward circuit as the center, and initiates the pleasure experience of aesthetic objects. Ventral Striatum plays a key role with this process regulation. In addition, the aesthetic mechanism based on the reward circuit can provide new ideas to develop the artificial neural network model, and to support the technical application

of the artificial intelligence and brain science.

Keywords

Visual Aesthetics, Reward Circuit, Hedonic Value, Imaging Technology, Artificial Intelligence

Copyright © 2021 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

伴随着无创神经成像技术的引入, 视觉审美的研究进入新的阶段。研究人员从之前对于行为层面的研究深入到基于神经生理水平的脑机制研究。通过正电子发射断层扫描(PET), 功能磁共振成像(fMRI)和脑磁图(MEG)等技术手段, 研究人员开始探索到视觉审美的神经生物学过程。长期以来, “审美”一直被视作感官的愉悦体验, Simon 于 2011 年提出审美的一部分神经机制应该是通过激活大脑内奖赏回路来体现的。因此与奖赏回路相关的神经网络成为围绕视觉审美的影像学研究关注焦点。随着对奖赏回路神经网络的神经生物学定位越来越清晰, 视觉审美欣赏的概念化方式也开始经历根本性的变化。最重要的是, 新兴的神经科学证据让我们意识到, 审美欣赏比以前人们所认为的要复杂得多(Zeki, 2014)。它并不只是简单地判断自己喜不喜欢这幅画或者这个艺术品, 随着神经生理水平探索的深入, 研究发现对审美欣赏的行为结果可以进行预测, 甚至对其它的知觉认知加工过程产生影响, 从而改变人的动机和行为。

近年随着人工智能领域的不断发展, 如何通过计算机建构出人类的视觉审美体验模型成为了认知心理学和信息科学交叉领域的前沿问题。有研究者开始尝试搭建基于神经网络的视觉审美计算模型, 随着视觉审美神经生理机制的进一步了解, 神经信息科学框架下视觉审美与人工智能的融合发展会是类脑研究领域热点之一。

2. 视觉审美的早期理论

早期“审美”被解读为一种独特的心理功能, 这个关键性假设的提出可以追溯到罗马医生 Galen, 他认为思维可以分为感觉成分和理性成分。感觉成分被动接受外界环境的输入, 所以情绪的产生是对印象的被动化反应, 只有认知反应是主动的(James, 1997)。理性成分则将感觉印象转换为观点、信仰或者知识。从 17 世纪的 Leibniz 和 Locke, 到 18 世纪的 Reid、Hume 和 Kant, “审美是如何产生的?” 一直是赋予了哲学思维活力的研究热点。

哲学家们自 18 世纪发展了审美欣赏这一概念, 以试图理解以下事实: 人类对感觉刺激做出反应的一种行为方式, 以其主观(非逻辑)活动来评估感官对象, 尤其是物体的享乐价值。他们提出, 人的大脑包含专门的心理区域, 可以通过对接收到的感官信息进行美学判断来执行此评估。值得强调的是, 就其构想方式而言, 该理论植根于中世纪的人类思维模式, 虽然被人们认为是有误导性的, 但仍然为审美欣赏概念提供了一定假设框架, 这些框架为后来理论假设的提出带来了许多启发灵感。

20 世纪中期, 学者们发现了“知觉”、“情绪”或“认知”对美学欣赏发生作用的证据, 提出了两个重大的理论体系, 开启了美学研究的新时代, 也促进了经验美学将美学欣赏的概念转化到心理学和神经科学中。一个理论体系是视觉信息加工, 感知系统具有不同功能单元的层级组织系统结构, 并且这些功能单元包含了感觉输入的不同特征信息(Felleman & van Essen, 1991; Livingstone & Hubel, 1988)。

Livingstone 和 Hubel (1988)在视觉加工中基于解剖、生理和视知觉特征进行了归纳总结。比如, 颜色敏感节细胞在不同光照刺激时产生抑制或兴奋的状态, 与视觉传导通路的更高级神经元作用实现了真正意义上的颜色知觉。图形组织的原则有邻近性、相似性、对称性、连续性和封闭性(Livingstone & Hubel, 1988)。这些视觉加工通路上的功能差异为视觉审美的研究奠定了视知觉功能基础。

另一个理论体系是针对情绪的研究。科研人员将生理行为与情绪的神经生物学系统相关联, 发现情绪在适应生理需要方面的调节行为中起着核心作用。具体来说, 解决体内平衡需求的行为会因愉悦的感觉而得到“奖励”, 而不会受到负面享乐感觉(不悦, 厌恶等)“惩罚”的行为也会得到奖励。这种积极和消极的情绪状态通过“激励”生物体参与有利的行为, 并避免出现有问题的行为来帮助促进适应行为(Blum et al., 2018)。尤其在动物解剖模型中, 可以将这些奖赏功能调节功能定位于特定的脑区, 如脑干、下丘脑、纹状体等, 从而为审美的奖赏性神经功能研究奠定了生物学基础(Boccia, 2016)。

3. 基于神经影像学技术的审美机制探索

虽然基于动物模型的神经科学在解剖和生理水平对奖赏网络的研究逐步深入, 但是人类大脑数据的缺乏一直是科学家们关注的焦点。神经影像学技术(如 fMRI)可以通过无创性扫描大脑活动, 为研究者们探索审美神经机制提供了机会。传统哲学美学认为, 大脑有一套相对独立的审美加工机制, 这一加工过程跟审美对象的特征关系密切, 比如与艺术作品有关的特征审美判断和偏好(Jacobsen et al., 2006; Di Dio et al., 2011; Jacobsen, 2013)。丹麦学者 Martin Skov 通过整理近 20 年审美欣赏相关的神经影像学研究发现, 不同于传统哲学心理对艺术审美理论的各种假说, 审美对象无论是食物、面孔、金钱、艺术或者音乐等, 大脑发生主观美学欣赏的神经生物学过程都跟皮质边缘区的奖赏回路相关(Skov & Nadal, 2020)。受此启发, 我们围绕奖赏网络梳理和探讨审美认知加工和神经调节活动, 进一步促进对审美加工神经机制的理解。

经典审美领域的神经影像学研究是将认知神经科学方法与人文方法相结合(Pearce et al. 2016), 使用艺术图像作为实验材料, 利用 fMRI 定位分析图像激活脑区, 观察其对应脑区的反应与艺术特征的相关性。Zeki (2004)基于被试对不同类型艺术作品的美丑偏好研究发现审美偏好是一种复杂的心理现象, 涉及认知和情感过程(Boccia, 2016), 它不仅仅是激活一个脑区而产生相应的情绪反应可以解释的。Munoz and Martin-Loeches (2015)在研究审美的认知加工过程中发现面部和身体的审美图像的视觉处理需要不同的知觉、评估、决策过程(审美判断), 在判断的不同阶段, 注意资源的分配是不同的。总之, 越来越多的证据支持多个不同脑区参与审美加工, 并发挥重要作用(Augustin et al., 2011; Wang et al., 2016; Brachmann & Redies, 2017; O'Doherty et al., 2017; Sarasso et al., 2020)。

眶额皮质(OFC)的激活与审美偏好相关, 并受到情境的调节(Kirk et al., 2009)。例如, 象形文字的字形结构及其相应的对象图像(指的是美丽的物体)在美感方面的评级显著高于丑陋的对象。观看绘画不仅涉及视觉和物体识别所需的脑区, 而且还涉及潜在的情绪和内在认知的结构(Vartanian & Skov, 2014)。fMRI 显示眶额皮质(OFC)的区域通常在象形文字和对象图像中被激活, 而这些图像和对象图像是在美丽判断和亮度判断之间形成直接对比的(Zhang et al., 2016)。对艺术品中主体的感觉主要激活右顶叶皮质, 而对照片主体的感知更依赖于腹内侧前额叶皮层, 这表明了独特的定向认知模式(Lutz et al., 2013)。不同人群为什么会存在审美偏好差异呢? Vartanian 和 Goel 的 fMRI 研究表明被试在观察具象画和抽象画时, 对具象画喜爱程度较高。观看抽象画(喜爱程度低)的绘画作品时脑成像结果显示尾状核的激活减少(Vartanian & Goel, 2004; Pang et al., 2013)。此外, 也有研究发现左前扣带回沟脑区参与“奖励”相关的情绪变化刺激处理(Dum et al., 2016)。因此, 以上 OFC、尾状核等区域的激活都表明审美偏好与给大脑提供“奖赏”、增加愉悦感功能有紧密关联。

随着研究的深入, Lacey et al. (2011)提出视觉艺术神经加工概念, Lacey et al. (2011)通过大量 fMRI

数据分析发现脑部腹侧纹状体(Ventral Striatum, VS)在观察艺术图像时较为活跃, 并且这种 VS 的激活主要与图像的艺术水平有关, 与图像的类型和其内容无关。在此基础上, Lacey 首次提供了脑部奖赏回路(reward-related region)参与艺术审美加工的大脑活动影像证据, 实验材料选取经过匹配的艺术图像与非艺术图像(参见 Lacey et al., 2011, 图 1), 由于艺术图像和非艺术图像的内容和其他物理属性高度相似, 对比大脑反应结果, 艺术图像导致的更大激活可归因于它们的艺术水平。当人们觉得这幅图片艺术水平较高时, 腹侧纹状体的激活较为明显, 在类似内容的非艺术图片刺激时, 腹侧纹状体活动不明显。Hagtvedt 和 Patrick (2008)提出的“艺术注入”效应在侧面印证了艺术图片与非艺术图片在“艺术地位”上的差异对 VS 的激活有显著影响。例如, 相比与艺术无关的产品描述, 如果包装、广告或产品描述与艺术产生关联的话, 消费者对产品的评价会更高(Lyssenko et al., 2016)。此外, 图像的艺术地位可以影响人们的决策行为。Brown 等人(2011)的研究表明审美加工的核心是对感知对象价值的评估。这种评估绝不仅限于艺术品, 而是适用于所有类型的感知物体。当人们认为一个图片是“艺术品”或者有“艺术价值”时, 奖赏回路相关脑区显著激活, 并且促进人们对图片进行审美判断(Gerger et al., 2014; Kirsch et al., 2016)。

针对审美的认知加工研究, 无论以何种形式进行的艺术感知都对感官产生了愉悦体验。对艺术审美的神经信息加工很可能通过激活奖赏回路来获得“享乐价值”。奖赏回路由 VS 组成, 包括伏隔核并延伸到腹内侧基底核和尾状核(Yacubian et al., 2007), 以及相互连接的内侧前额叶和眶额皮质、杏仁核和多巴胺能中脑核(Kirsch et al., 2016)。大脑神经活动的有效连接与图片是否具有艺术性密切相关: 当被试观看非艺术图像时, VS 与其他脑区独立激活; 而观看艺术图像时, VS 与其他脑区的有效连接增强。除了 VS 之外, 对艺术图像具有选择性的激活还包括位于右内侧 OFC, 双侧下丘脑, 额叶前皮层, 视觉皮层的多个区域和双侧小脑。并且前额叶激活在右下额叶沟(IFS)和内侧上额叶回(mSFG)。这些皮质区域中的部分脑区, 特别是 OFC, 靠近鼻窦, 可能容易受到信号衰减的影响, 从而影响在影像实验的采集(Lacey et al., 2011; Noguchi & Murota, 2013)。总之, 眶额皮质、尾状核与杏仁核的作用在审美认知加工的神经活动中都有文献提到, 但杏仁核参与奖赏相关的激活条件情况不如 VS 和 OFC 稳定(Elliott et al., 2003; Ishizu & Zeki, 2011)。正如 Nadal et al. (2011)指出, 采用艺术图像的许多其他研究未能观察到杏仁核的激活(如: Lyssenko et al., 2016; Jaśkiewicz et al., 2016; Kirk et al., 2009)。不过在涉及建筑审美的研究中发现, 与判断为丑陋的图像相比, 评价较高的雕塑图像会激活右杏仁核(Di Dio et al., 2011)。因此, 杏仁核是否参与审美神经加工目前还存在争议(O'Doherty, 2014)。

到目前为止, 奖赏回路被认为是参与个人审美偏好和对艺术品价值决策加工的重要脑区, VS 被认为是奖赏回路的关键节点(Nadal & Pearce, 2011; Augustin et al., 2011; Blum et al., 2018)。腹侧纹状体、眶额皮质、尾状核这些脑区往往是因为“喜欢”和“愉悦”而被激活, 从而获得享乐价值(Martín-Loeches et al., 2014; Chatterjee & Vartanian, 2016; Sarasso et al., 2019)。结合早期学者 Martindale (1984)提到享乐价值认知表征的激活涉及到对其意义的解释, 现代学者认为艺术审美正是利用了这种机制, 人们将艺术欣赏与艺术品的标题、内容等联系在一起, 所有涉及艺术的信息都会被欣赏者接受和理解(Koelsch, 2018)。值得注意的是, 这里的“审美愉悦”并不单纯指积极情绪(如快乐、高兴、激动等), 在一些表达消极情绪(如悲伤、痛苦、孤独等)的艺术作品中, 人们同样能感受到其带来的“审美愉悦”而激活奖赏回路、获得享乐价值。虽然这个方向的研究极少, 但可以为将来的研究提供思路启发。

4. 基于视觉审美神经网络的模型构建

图像美学价值评估是未来智能类脑计算模型的创新方向, 由于目前美学加工机制研究十分有限, 这一过程非常复杂且十分具有挑战性。随着交叉学科的迅速发展, 研究者们开始通过视觉审美机制的知觉系统基础研究逐步发展到结合高级认知神经的多水平复杂系统模型构建, 将人类的视觉审美认知模式逐

步转化应用于人工智能的研究, 同时也有利于对审美认知加工的进一步理解。

早期有国外学者提出知觉情感模型, 如 Chatterjee & Vartanian (2016)的视觉情感感知模型, 强调视觉加工和视觉注意对情感感知的重要性, Schmid 等人(2013)提出了一个基于动态原型的审美决策认知建模框架。近年有团队结合自下而上和自上而下的情感认知通路, 构建了由外部视觉信息获取与加工、信息感知编码与认知编码, 和情感体验的视觉情感体验模型以及情感感知四重模型(Li & Zhang, 2020)。国内也有团队开始在图像美学情感的理解、等级分类和识别方面的建立模型, 与高级认知模型相结合进行探索研究。近期 Liu et al. (2018)建立了具有前反馈结构的白盒模型, 来解释物理特征如颜色、纹理或者冷热、软硬与审美之间的关系, 来预测视觉特征(如纹理)的审美感知和欣赏是可以预测的。在人工神经网络基础上, Tan et al. (2016)结合自动编码器技术, 提出了一种改进的新型美学分类器来对图像进行分类处理。最近文献显示 Carballal 等人(2019)尝试建立完全自动化审美指标系统, 对于图片的筛选过滤无需人工干预, 执行此任务的计算系统通常由临时指标和机器学习系统组成。此系统不用考虑人类特有的审美直觉(刘建立&张剑心, 2019; Sriman & Schomaker, 2019; Wang et al., 2016; Li & Zhang, 2020; Zhao et al., 2020)。总体而言, 目前各种计算模型还具有很大局限性, 人类对艺术的天然主观性以及审美加工机制的理解仍然是十分有挑战性。因为视觉审美并不只靠物体特性驱动, 当环境发生变化时, 相同的刺激可以在知觉通路和奖赏回路中产生不同的计算表征, 这些信息被投射到其他神经系统, 影响生理、内分泌、执行和感知过程, 产生不同的享乐价值。

5. 启示与展望

视觉审美研究是一个新兴的研究方向, 学者们一方面对于视觉审美的神经生理机制理解逐步深入, 另一方面通过审美体验建构的类脑计算模型还处于初级阶段。针对这样一个新兴领域, 我们有机会采用跨学科的方法, 将计算机科学、生物学、神经科学、心理学、社会学和人文美学相结合。基于个人与环境的相互作用, 以及审美对象的物体特性, 对大量审美经验进行量化评估, 了解在具体背景下具有审美偏好的个人心理和神经加工过程是接下来的重点方向(Pearce et al., 2016)。今后的视觉审美感知模型, 可以结合模拟奖赏回路在人脑视觉审美机制中的调节模式, 进一步整合优化复杂网络信息加工, 促进人工智能领域的神经生理机制与类脑计算模型的进一步融合。

参考文献

- 刘建立, 张剑心(2019). 视觉审美体验的类脑计算模型研究进展. *计算机工程与应用*, (16), 18-24+35.
- Augustin, M. D., Defranceschi, B., Fuchs, H. K., Carbon, C. C., & Hutzler, F. (2011). The Neural Time Course of Art Perception: An ERP Study on the Processing of Style Versus Content in Art. *Neuropsychologia*, 49, 2071-2081. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.03.038>
- Blum, K., Gondré-Lewis, M., Steinberg, B., Elman, I., Baron, D., Modestino, E. J., Gold, M. S. et al. (2018). Our Evolved Unique Pleasure Circuit Makes Humans Different from Apes: Reconsideration of Data Derived from Animal Studies. *Journal of Systems and Integrative Neuroscience*, 4, 1-7. <https://doi.org/10.15761/JSIN.1000191>
- Boccia, M., Barbetti, S., Piccardi, L., Guariglia, C., Ferlazzo, F., Giannini, A. M., & Zaidel, D. W. (2016). Where Does Brain Neural Activation in Aesthetic Responses to Visual Art Occur? Meta-Analytic Evidence from Neuroimaging Studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 60, 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.09.009>
- Brachmann, A., & Redies, C. (2017). Computational and Experimental Approaches to Visual Aesthetics. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 11, 102. <https://doi.org/10.3389/fncom.2017.00102>
- Brown, S., Gao, X., Tisdelle, L., Eickhoff, S. B., & Liotti, M. (2011). Naturalizing Aesthetics: Brain Areas for Aesthetic Appraisal across Sensory Modalities. *Neuroimage*, 58, 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.06.012>
- Carballal, A., Fernandez-Lozano, C., Heras, J., & Romero, J. (2019). Transfer Learning Features for Predicting Aesthetics through a Novel Hybrid Machine Learning Method. *Neural Computing and Applications*, 32, 5889-5900. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04065-4>

- Chatterjee, A., & Vartanian, O. (2016). Neuroscience of Aesthetics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1369, 172-194. <https://doi.org/10.1111/nyas.13035>
- Di Dio, C., Canessa, N., Cappa, S. F., & Rizzolatti, G. (2011). Specificity of Esthetic Experience for Artworks: An fMRI Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 139. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00139>
- Dum, R. P., Levinthal, D. J., & Strick, P. L. (2016). Motor, Cognitive, and Affective Areas of the Cerebral Cortex Influence the Adrenal Medulla. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113, 9922-9927. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605044113>
- Elliott, R., Newman, J. L., Longe, O. A., & Deakin, J. F. W. (2003). Differential Response Patterns in the Striatum and Orbitofrontal Cortex to Financial Reward in Humans: A Parametric Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 23, 303-307. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-01-00303.2003>
- Felleman, D. J., & Van Essen, D. C. (1991). Distributed Hierarchical Processing in the Primate Cerebral Cortex. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 1, 1-47. <https://doi.org/10.1093/cercor/1.1.1>
- Gerger, G., Leder, H., & Kremer, A. (2014). Context Effects on Emotional and Aesthetic Evaluations of Artworks and IAPS Pictures. *Acta Psychologica*, 151, 174-183. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.06.008>
- Hagtvedt, H., & Patrick, V. M. (2008). Art Infusion: The Influence of Visual Art on the Perception and Evaluation of Consumer Products. *Journal of Marketing Research*, 45, 379-389. <https://doi.org/10.1509/jmkr.45.3.379>
- Ishizu, T., & Zeki, S. (2011). Toward a Brain-Based Theory of Beauty. *PLoS ONE*, 6, e21852. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021852>
- Jacobsen, T. (2013). On the Electrophysiology of Aesthetic Processing. *Progress in Brain Research*, 204, 159-168. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63287-6.00008-7>
- Jacobsen, T., Schubotz, R. I., Höfel, L., & Cramon, D. Y. (2006). Brain Correlates of Aesthetic Judgment of Beauty. *NeuroImage*, 29, 276-285. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.07.010>
- James, S. (1997). *Passion and Action. The Emotions in Seventeenth-Century Philosophy*. Clarendon Press.
- Jaśkiewicz, M., Francuz, P., Zabielska-Mendyk, E., Zapala, D., & Augustynowicz, P. (2016). Effects of Harmonics on Aesthetic Judgments of Music: An ERP Study Involving Laypersons and Experts. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 76, 142-151. <https://doi.org/10.21307/ane-2017-013>
- Kirk, U., Skov, M., Hulme, O., Christensen, M. S., & Zeki, S. (2009). Modulation of Aesthetic Value by Semantic Context: An fMRI Study. *NeuroImage*, 44, 1125-1132. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.10.009>
- Kirsch, L. P., Urgesi, C., & Cross, E. S. (2016). Shaping and Reshaping the Aesthetic Brain: Emerging Perspectives on the Neurobiology of Embodied Aesthetics. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 62, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.12.005>
- Koelsch, S. (2018). Identifying Emotional Specificity in Complex Large-Scale Brain Networks. *Emotion Review*, 10, 217-218. <https://doi.org/10.1177/1754073918769154>
- Lacey, S., Hagtvedt, H., Patrick, V. M., Anderson, A., Stilla, R., Deshpande, G., Hu, X., Sato, J. R., Reddy, S., & Sathian, K. (2011). Art for Reward's Sake: Visual Art Recruits the Ventral Striatum. *NeuroImage*, 55, 420-433. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.027>
- Li, R., & Zhang, J. (2020). Review of Computational Neuroaesthetics: Bridging the Gap between Neuroaesthetics and Computer Science. *Brain Informatics*, 7, 16. <https://doi.org/10.1186/s40708-020-00118-w>
- Liu, J., Lughofer, E., Zeng, X., & Li, Z. (2018). The Power of Visual Texture in Aesthetic Perception: An Exploration of the Predictability of Perceived Aesthetic Emotions. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018, Article ID: 1812980. <https://doi.org/10.1155/2018/1812980>
- Livingstone, M., & Hubel, D. (1988). Segregation of Form, Color, Movement, and Depth: Anatomy, Physiology, and Perception. *Science*, 240, 740-749. <https://doi.org/10.1126/science.3283936>
- Lutz, A., Nassehi, A., Bao, Y., Pöppel, E., Sztróky, A., Reiser, M., Gutyrchik, E. et al. (2013). Neurocognitive Processing of Body Representations in Artistic and Photographic Images. *NeuroImage*, 66, 288-292. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.10.067>
- Lyssenko, N., Redies, C., & Hayn-Leichsenring, G. U. (2016). Evaluating Abstract Art: Relation between Term Usage, Subjective Ratings, Image Properties and Personality Traits. *Frontiers in Psychology*, 7, 973. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00973>
- Martín-Loeches, M., Hernández-Tamames, J. A., Martín, A., & Urrutia, M. (2014). Beauty and Ugliness in the Bodies and Faces of Others: An fMRI Study of Person Esthetic Judgement. *Neuroscience*, 277, 486-497. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.07.040>
- Munoz, F., & Martin-Loeches, M. (2015). Electrophysiological Brain Dynamics during the Esthetic Judgment of Human

- Bodies and Faces. *Brain Research*, 1594, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.10.061>
- Nadal, M., & Pearce, M. T. (2011). The Copenhagen Neuroaesthetics Conference: Prospects and Pitfalls for an Emerging Field. *Brain and Cognition*, 76, 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.01.009>
- Noguchi, Y., & Murota, M. (2013). Temporal Dynamics of Neural Activity in an Integration of visual And Contextual Information in an Esthetic Preference Task. *Neuropsychologia*, 51, 1077-1084. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.03.003>
- O'Doherty, J. (2014). The Problem with Value. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 43, 259-268. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.03.027>
- O'Doherty, J., Cockburn, J., & Pauli, W. M. (2017). Learning, Reward, and Decision Making. *Annual Review in Psychology*, 68, 73-100. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044216>
- Pang, C. Y., Nadal, M., Müller-Paul, J. S., Rosenberg, R., & Klein, C. (2013). Electrophysiological Correlates of Looking at Paintings and Its Association with Art Expertise. *Biological Psychology*, 93, 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2012.10.013>
- Pearce, M. T., Zaidel, D. W., Vartanian, O., Skov, M., Leder, H., Chatterjee, A., & Nadal, M. (2016). Neuroaesthetics: The Cognitive Neuroscience of Aesthetic Experience. *Perspectives on Psychological Science: A Journal of the Association for Psychological Science*, 11, 265-279. <https://doi.org/10.1177/1745691615621274>
- Sarasso, P., Ronga, I., Kobau, P., Bosso, T., Artusio, I., Ricci, R., & NeppiModona, M. (2020). Beauty in Mind: Aesthetic Appreciation Correlates with Perceptual Facilitation and Attentional Amplification. *Neuropsychologia*, 136, Article ID: 107282. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107282>
- Sarasso, P., Ronga, I., Pistis, A., Forte, E., Garbarini, F., Ricci, R., & Neppi-Modona, M. (2019). Aesthetic Appreciation of Musical Intervals Enhances Behavioural and Neurophysiological Indexes of Attentional Engagement and Motor Inhibition. *Scientific Reports*, 9, Article No. 18550. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55131-9>
- Schmid, U., Siebers, M., Folger, J., Schineller, S., Seuß, D., Raab, M., & Faerber, S. J. (2013). A Cognitive Model for Predicting Esthetical Judgements as Similarity to Dynamic Prototypes. *Cognitive Systems Research*, 24, 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2012.12.002>
- Skov, M., & Nadal, M. (2020). A Farewell to Art: Aesthetics as a Topic in Psychology and Neuroscience. *Perspectives on Psychological Science*, 15, 630-642. <https://doi.org/10.1177/1745691619897963>
- Sriman, B., & Schomaker, L. (2019). Multi-Script Text versus Non-Text Classification of Regions in Scene Images. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 62, 23-42. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2019.04.007>
- Tan, Y., Zhou, Y., Li, G., & Huang, A. (2016). Computational Aesthetics of Photos Quality Assessment Based on Improved Artificial Neural Network Combined with an Autoencoder Technique. *Neurocomputing*, 188, 50-62. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.04.124>
- Vartanian, O., & Goel, V. (2004). Neuroanatomical Correlates of Aesthetic Preference for Paintings. *NeuroReport*, 15, 893-897. <https://doi.org/10.1097/00001756-200404090-00032>
- Vartanian, O., & Skov, M. (2014). Neural Correlates of Viewing Paintings: Evidence from a Quantitative Meta-Analysis of Functional Magnetic Resonance Imaging Data. *Brain and Cognition*, 87, 52-56. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.03.004>
- Wang, W., Zhao, M., Wang, L., Huang, J., Cai, C., & Xu, X. (2016). A Multi-Scene Deep Learning Model for Image Aesthetic Evaluation. *Signal Processing: Image Communication*, 47, 511-518. <https://doi.org/10.1016/j.image.2016.05.009>
- Yacubian, J., Sommer, T., Schroeder, K., Gläscher, J., Braus, D. F., & Büchel, C. (2007). Subregions of the Ventral Striatum Show Preferential Coding of Reward Magnitude and Probability. *Neuroimage* 38, 557-563. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.08.007>
- Zeki, S. (2004). The Neurology of Ambiguity. *Consciousness and Cognition*, 13, 173-196. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2003.10.003>
- Zeki, S. (2014). Neurobiology and the Humanities. *Neuron*, 84, 12-14. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.09.016>
- Zhang, W., Lai, S., He, X., Zhao, X., & Lai, S. (2016). Neural Correlates for Aesthetic Appraisal of Pictograph and Its Referent: An fMRI Study. *Behavioural Brain Research*, 305, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2016.02.029>
- Zhao, X., Wang, J., Li, J., Luo, G., Li, T., Chatterjee, A., Zhang, W., & He, X. (2020). The Neural Mechanism of Aesthetic Judgments of Dynamic Landscapes: An fMRI Study. *Scientific Reports*, 10, Article No. 20774. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77658-y>