

• 研究构想(Conceptual Framework) •

孤独症儿童社交沟通障碍的神经生理机制： 基于亲子同步性的视角*

王 慧^{1,2} 韩 卓²

(¹北京师范大学珠海校区文理学院心理系, 广东 珠海 519087)
(²北京师范大学心理学部, 北京 100875)

摘 要 社交沟通障碍是孤独症谱系障碍的核心症状。以往研究多从社会性注意或共情能力缺陷等个体因素来理解这一核心症状, 忽视了社交沟通的人际互动本质。人际同步性理论认为, 互动双方的行为和生理同步是维持和促进人际交流的重要因素。因此, 本研究拟结合人工智能和近红外光谱超扫描技术, 探究孤独症亲子同步性的特征与神经生理机制, 并分析其与儿童社交沟通障碍的关系。这一构想为从亲子同步新视角阐释社交沟通障碍的病理机制提供理论解释, 并为孤独症的早期筛查提供技术支持。

关键词 孤独症谱系障碍, 社交沟通障碍, 亲子同步性, 早期筛查

分类号 B845

1 问题提出

孤独症谱系障碍(Autism Spectrum Disorder, ASD, 以下简称孤独症)是一组以社交沟通障碍、重复刻板行为和狭隘的兴趣为核心症状的神经发育障碍, 是儿童常见的发展性疾病之一(American Psychiatric Association, APA, 2013)。据世界卫生组织(World Health Organization, WHO, 2024)报道, 全球儿童孤独症的患病率约为 1%。美国疾病预防控制中心(Centers for Disease Control and Prevention, CDC, 2024)的最新调查显示, 美国儿童孤独症的患病率高达 1/36。2020 年《Neuroscience Bulletin》期刊首次揭示了我国 6~12 岁学龄儿童孤独症患病率为 0.7%, 在我国每 142 名儿童中就约有 1 名孤独症患者(Zhou et al., 2020)。孤独症症状常起病于婴幼儿期且伴随终身, 病因尚不明确, 也无有效的治疗药物。孤独症严

重威胁着儿童的独立生活、受教育程度和良好社会关系的建立(Van Heijst & Geurts, 2015), 而作为其核心症状的社交沟通障碍是孤独症儿童回归社会、过上高质量生活的最大障碍。因此, 探究这一核心症状的发生机制, 并开发有效的早期筛查和干预策略, 已成为当前孤独症研究的核心议题之一。

以往研究主要从个体层面来理解孤独症儿童的社交沟通障碍, 认为其核心缺陷在于社会性注意减少(Del Bianco et al., 2021; Haskins et al., 2022)、心理理论或共情能力缺损(Griffin et al., 2021; Jaisle et al., 2023), 以及动作能力不足(Monier & Droit-Volet, 2019)。这些研究揭示了孤独症儿童在信息加工和社会认知方面的特殊性, 为理解社交沟通障碍提供了重要线索。然而, 最近的研究发现, 孤独症儿童在这些方面的缺陷并不完全决定他们的社会互动质量, 社交沟通障碍更可能是复杂的人际互动问题, 而不仅仅是孤独症儿童的个人问题(Bowsher-Murray et al., 2022; Murat Baldwin et al., 2022)。

在人际互动的视角下, 人际同步性(interpersonal synchrony)理论认为, 成功的社会互

收稿日期: 2025-01-02

* 国家自然科学基金青年项目(32300891), 北京市社会科学基金青年学术带头人项目(21DTR030)资助。

通信作者: 韩卓, E-mail: rachhan@bnu.edu.cn

动不仅依赖个体的社会性能力,还取决于互动双方在表情、动作、言语,甚至是生理反应和大脑激活水平上的协调与同步(Feldman, 2007, 2012)。人际同步性被认为是社会交流的基础,不仅有助于维持和促进互动对象间的联系和情感共鸣,也影响个体的社会认知和社会情感能力。已有研究发现,人际同步性在正常发展儿童的亲子互动中起着至关重要的作用(Davis et al., 2018; DePasquale, 2020),而孤独症儿童在这一方面可能存在显著缺陷。例如,孤独症儿童在亲子互动中的动作同步性、表情同步性,以及生理和神经同步性均低于正常发展儿童(Kruppa et al., 2021; Valentovich et al., 2018; Wang et al., 2021)。这表明,孤独症儿童的社交沟通障碍可能不仅源于自身的社会认知和情绪调节缺陷,更可能与其在互动过程中难以与他人建立同步性有关。

在孤独症儿童的早期发展过程中,家庭是其最重要的成长环境,父母是其主要的互动对象(Pacia et al., 2022)。研究表明,亲子互动质量对孤独症儿童社交能力的发展具有重要影响,亲子间的情感联结、互动模式和生理同步性均会影响儿童的社交能力(DePasquale, 2020)。父母往往需要投入更多精力去调整互动方式,以适应孤独症儿童的特殊需求,而亲子同步性缺乏可能进一步加剧儿童的社交困难。因此,研究孤独症儿童在亲子互动中的行为、生理和神经同步性,可以为揭示社交沟通障碍这一核心症状的病理机制提供新视角。

在基础理论研究的基础上,如何将研究成果应用于临床实践也是孤独症研究者们面临的重要挑战。目前,孤独症的早期筛查主要依赖量表评估,重点关注儿童个体的行为特征。常用的筛查工具包括幼儿孤独症筛查量表(CHAT, M-CHAT, CHAT-23; Baron-Cohen et al., 1992; Robins et al., 2001; Wong et al., 2004)等一级筛查工具,以及儿童孤独症行为评定量表(ABC; Krug et al., 1980)和克氏孤独症筛查量表(CABS; Clancy et al., 1969)等二级筛查工具。诊断性评估则依赖孤独症诊断访谈问卷修订版(ADI-R; Lord et al., 1994)和孤独症诊断观察量表第二版(ADOS-2; Lord et al., 2012)等。然而,这些筛查工具存在评估耗时、主观性强、对临床医生专业要求高等问题,影响了筛查的效率和准确性(蔡郑婷 等, 2022; 赵亚楠 等,

2023)。

近年来,随着技术的发展,研究者尝试结合眼动、脑电(electroencephalogram, EEG)、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)等技术开发更为客观的筛查工具。例如,眼动研究发现,孤独症儿童在面部注视模式、社会场景关注度等方面存在显著异常(Liu et al., 2016; Wen et al., 2022)。脑电研究表明,孤独症儿童在静息态和任务状态下的脑电功率谱存在差异(Kang et al., 2020)。磁共振成像研究则发现,孤独症儿童的脑容量、轴外脑脊液体积,以及静息态功能连接模式存在异常(Reiter et al., 2021; Shen et al., 2018; Sun et al., 2021)。然而,现有研究大多依赖实验室环境下的基础任务,如观看情绪图片或简单的社交场景,缺乏对真实社交情境中儿童行为表现的捕捉和分析,限制了其临床应用价值。

因此,本研究拟从人际同步性理论出发,探讨孤独症儿童在亲子互动过程中的行为同步性(动作和表情同步)及其神经生理机制,揭示孤独症儿童社交沟通障碍的发生机制。在此基础上,本研究还将探索以亲子同步性为客观指标进行孤独症早期筛查的可行性,为开发更具临床应用价值的客观筛查工具提供理论和技术支持。这一研究不仅有助于深化对孤独症社交沟通障碍的理解,也为临床实践提供了新的筛查思路和方法。

2 国内外研究进展与述评

2.1 孤独症儿童社交沟通障碍与亲子行为同步性

以往研究识别出许多可能导致孤独症儿童社交沟通障碍的个体因素。其中,孤独症儿童的社会性注意模式、情绪或共情能力,以及动作能力得到广泛关注(Del Bianco et al., 2021; Griffin et al., 2021; Monier & Droit-Volet, 2019),并得到了一些实证研究结果的支持。但也有一些研究表明这些个体因素均不是孤独症儿童社交沟通障碍的决定因素(Bowsher-Murray et al., 2022; Murat Baldwin et al., 2022)。以社会性注意模式为例,社会动机理论认为,由于孤独症患者奖赏相关的神经机制发展异常,导致他们对于社会奖赏的敏感性降低,同时对某些非社会奖赏表现出异常偏好(Chevallier et al., 2012; Yi et al., 2022)。具体表现为更少关注人脸,尤其是眼睛区域,而更多关注非社会性刺激(如几何图形、机械物体等)(Kwon et

al., 2019; 王磊 等, 2021)。这种双重异常使得他们在社会互动中面临显著挑战: 一方面, 他们难以从社交互动中获得预期的奖赏体验; 另一方面, 对非社交刺激的异常偏好可能进一步削弱其参与社交活动的动机(McNaughton & Redcay, 2020)。这种对社会性刺激不敏感而对非社会性刺激过度关注被认为是孤独症个体社交困难的核心机制之一(Chevallier et al., 2012)。然而, 针对正常亲子的研究发现, 在积极的亲子互动过程中, 儿童所表现出的注意模式应该是将更多的注意放在亲子互动所使用的玩具上, 而不是更多地注意父母的面部区域(Deák et al., 2018)。例如, Yu 和 Smith (2017)使用眼动仪记录了 51 名 11~24 月龄幼儿与父母在共同玩玩具时的注视行为。研究发现, 幼儿与父母的共同注意(joint attention)并非是通过追随对方的视线实现, 而是通过双方在操作物体时注意对方的手部动作来实现的。此外, 研究发现, 亲子在手眼协调能力上的差异与他们在共同注意上的表现密切相关, 手部动作协调性较高的亲子能够更频繁地实现共同注意。这一发现挑战了单纯从儿童个体的社会性注意模式的角度去理解孤独症社交沟通障碍的观点, 表明社会互动中的注意分配可能受到情境和互动对象的影响, 而不仅仅是儿童个体的注意偏好。因此, 孤独症儿童的社交沟通障碍可能需要从更广泛的社会互动中加以理解, 而非仅仅归因于其社会性注意模式的异常。

社会互动的意义是由互动过程和参与其中的个体相互作用而产生的, 即“参与式意义建构”(participatory sense-making; Fuchs & De Jaegher, 2009)。所以, 除了孤独症儿童自身的因素外, 孤独症儿童与互动对象在知觉、思维、意图、信念等基本心理状态上的差异也可能使得他们在互动中难以找到共同点。双重共情问题(Double-empathy Problem)的观点认为, 由于孤独症患者与正常个体有不同处理和体验世界的方式, 他们也会有不同的规范和期望, 因此在互动中彼此难以共情, 进而导致社交失败(Bolis et al., 2018; Milton, 2012)。对儿童个体因素挑战性的研究结果以及双重共情问题的理论观点均提示, 应该从个体视角转向人际互动视角来重新审视孤独症社交沟通障碍的机制。

人际同步性(interpersonal synchrony)是人际互动质量的一个重要指标。它指的是在互动过程

中, 双方的眼神、面部表情、肢体动作, 甚至是生理反应和大脑活动水平等方面相互协调一致的过程(Feldman, 2007; Harrist & Waugh, 2002)。互动对象的基本心理状态实时发生变化, 为了准确理解对方的意图以实现有效的社会互动, 个体需要及时调整自己的动作和情绪表达来与互动对象同步。如在亲子共同拼积木的过程中, 母亲先拼了部分, 随后用言语和手势线索指示儿童去完成接下来的部分, 同时注意视线在儿童的动作和积木间不断切换。这时如果儿童只注意积木而忽视母亲的言语、动作和注意线索, 他们的互动质量肯定会大打折扣。类似地, 当儿童在玩积木的过程中体验到较强的积极情绪并用言语或者微笑表现出来时, 如果母亲没有对儿童的情绪和言语信息做出及时的反馈, 也会破坏亲子互动质量。实证研究发现, 儿童社会情绪能力以及社会交流技能的早期发展极大程度地受到人际互动过程中的情绪同步性(Davis et al., 2018; Feldman, 2015; Scholtes et al., 2021)和动作同步性(Bowsher-Murray et al., 2022; Hoehl et al., 2021)的影响。

事实上, 人际同步性是孤独症早期筛查的重要方面。我国《孤独症谱系障碍儿童早期识别筛查和早期干预专家共识》(李廷玉, 2017)指出, 不(少)看、不(少)应、不(少)指、不(少)语、不当的“五不”行为是孤独症社交沟通障碍的早期行为标志, 尤其强调要在人际互动中识别儿童的这些孤独症预警征。此外, 人际同步性的重要性也在孤独症的诊断和评估工具中得到证实, 如标准化的诊断工具孤独症诊断观察表第二版(ADOS-2; Lord et al., 2012)和孤独症诊断访谈问卷修订版(ADI-R; Lord et al., 1994)都特别关注人际互动情景中的行为同步性。

2.2 孤独症亲子同步性的神经生理机制

自主神经系统(autonomic nervous system, ANS)为持续进行的社会互动以及个体的情绪反应提供生理支持(Porges & Furman, 2011)。在多种反映自主神经系统功能的指标中, 呼吸性窦性心律不齐(respiratory sinus arrhythmia, RSA)是亲子同步性研究中最受关注的生理指标(DePasquale, 2020; Miller et al., 2023)。RSA 指在呼吸过程中, 由于迷走神经张力发生变化使窦房结的自律性也发生周期性和规律性改变的程度, 体现了自主神经系统对社会和情绪信息的调节作用(Porges,

2007)。研究表明,孤独症儿童在自主神经系统功能上可能存在异常(Baker et al., 2020; Corbett et al., 2019)。具体而言,相比于正常发展儿童,孤独症儿童在静息状态下的 RSA 水平较低(Condy et al., 2017; Neuhaus et al., 2014),并且在社会互动中的 RSA 反应性也常有异常表现(Corbett et al., 2019; Fenning et al., 2018)。例如,Neuhaus 等人(2016)通过对比 8~11 岁孤独症儿童与正常发展儿童在积极的亲子互动(共同玩玩具)过程中的 RSA 水平发现,正常发展儿童在互动中不仅整体的 RSA 水平较高,而且其 RSA 水平会随着积极互动的进行而逐步升高;相比之下,孤独症儿童的 RSA 水平则始终处于较低水平,并且缺乏动态变化。这种异常的 ANS 功能可能影响孤独症儿童的社交能力,使其在亲子互动中难以适应社交情境的动态变化,进而破坏亲子互动质量,并削弱亲子间的生理同步性。

然而,目前仅有一项研究探讨孤独症儿童在社会互动中与互动对象的 RSA 同步性(Wang et al., 2021)。结果表明,孤独症儿童在与父母完成合作绘画任务时的 RSA 同步性显著低于正常亲子。进一步分析发现,儿童的孤独症症状越严重,内化心理病理问题(如焦虑和抑郁)越多;亲子互动质量越差,亲子间的 RSA 同步性越低。这一研究为理解孤独症儿童在社交互动中的生理同步性提供了初步证据,并提示孤独症儿童的社交困难可能与其难以与互动对象建立和维持生理同步性有关。

除自主神经系统外,中枢神经系统中的大脑也在社会信息加工、理解他人的意图、情绪状态和动作行为的过程中发挥重要作用(李先春等, 2018; Ratliff et al., 2022)。在人际互动过程中,互动双方在不同的生理系统中的同步性可能具有不同的意义,例如,自主神经系统的同步性可能更多反映双方的同步唤醒程度,而两个相互作用的大脑间的同步性可能更多反映认知同步性的过程(Quiñones-Camacho et al., 2020)。脑间同步性的研究可以帮助我们更全面、深入地理解孤独症亲子行为同步性背后的神经机制。

脑间同步性(brain-to-brain synchrony)或神经同步(neural synchrony)是人际同步性研究的新方向,是随着“超扫描”技术(hyper-scanning; Montague et al., 2002)的进步而逐渐发展起来的,该技术可以同时监测两个或两个以上的个体在社

会互动中的大脑活动情况。在人际互动,如合作按键任务(Kruppa et al., 2021; Miller et al., 2019),或者更为自然的相互注视(Hirsch et al., 2017)、牵手(Goldstein et al., 2018)、自由对话(Nguyen et al., 2021)、合作绘画(Nguyen et al., 2020)等过程中,互动双方的大脑活动都会表现同步变化的模式。

在人际互动过程中,与注意加工和心智化紧密相关的前额叶皮层(prefrontal cortex, PFC)和与感知社交刺激和形成社会联结有关的颞顶联合区(temporo-parietal junction, TPJ)两个脑区发挥更为关键的作用(Hoehl et al., 2021; Loughheed & Keskin, 2021; Nguyen et al., 2021)。Gvirts 和 Perlmutter (2020)提出的共同社会注意系统理论认为,这两个脑区构成了社会互动的神经机制基础:它们不仅参与个体对外界刺激的共同注意加工,还支持互动双方对彼此行为与情绪状态的实时互解,从而对社会互动的维持和促进起关键作用。

目前,仅有两项研究考察了孤独症儿童的脑间同步性。在一项研究中,研究者采用近红外光谱脑功能成像(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)的超扫描技术考察了 16 对 5~11 岁孤独症儿童与父母在合作按键任务和独立按键任务中的脑间同步性(Wang et al., 2020)。结果发现,孤独症亲子在合作任务中前额叶皮层的脑间同步性显著高于独立任务。同时发现,脑间同步性越弱,儿童的孤独症症状越严重。这一研究是孤独症领域脑间同步性的第一项研究,开创了从人际互动中脑间同步性的视角去阐明孤独症核心症状的新方向。随后, Kruppa 等人(2021)采用同样的技术也发现了类似的结果,即孤独症亲子在合作任务和竞争任务中均表现出了高于随机水平的前额叶皮层的同步性。

虽然这些结果初步证实孤独症儿童较低的脑间同步性可能是其社交沟通障碍的神经机制,但是这两项研究仍存在一些局限性,比如样本量不足、缺少与正常亲子的比较等。其中最为严重的问题是实验任务的选取:两个研究均采用电脑程序的按键任务,这与真实的社会互动间有着较大的差异(Chen et al., 2023; Zampella et al., 2020)。这一研究结果能否推广至孤独症儿童自然人际互动中的神经同步性模式尚未明确。最新的一项研究考察了孤独症成人在自然互动中的脑间同步性,结果发现,孤独症成人与互动对象在谈话过程中

颞顶联合区的同步性越弱, 他们的社交沟通障碍越严重(Quiñones-Camacho et al., 2021)。这一发现为自然互动中的脑间同步性与孤独症社交沟通障碍的关系提供了初步证据。但是, 目前尚无研究考察孤独症儿童在自然情境中的神经同步性。因而, 研究真实社会互动中的脑间同步性对于理解孤独症儿童人际互动和社会交流的神经机制具有重要意义。

2.3 孤独症社交沟通障碍的早期筛查

孤独症的社交沟通缺陷在幼儿阶段就会出现, 早期筛查可以及时发现儿童的异常行为, 为早期诊断和干预提供支持, 从而帮助儿童从早期干预中获得最大收益。美国儿科学会(American Academy of Pediatrics, AAP)建议, 除了常规的发育检测和筛查外, 在 18~24 个月的健康体检中, 对所有幼儿进行孤独症筛查。虽然可以在 2 岁的儿童中诊断出孤独症, 但在美国, 大部分儿童都是在 4 岁以后才被诊断为孤独症的(CDC, 2024)。在我国, 情况更为不理想, 能有效识别孤独症的儿科医生、儿童保健医生及精神科医生屈指可数。

阻碍孤独症早期筛查和早期诊断的主要原因是婴幼儿可以被观测的、客观的指标较少。目前孤独症的早期筛查主要依赖临床医生询问病史和对儿童行为进行临床观察, 筛查工具主要为问卷量表(蔡郑婷 等, 2022; 赵亚楠 等, 2023)。具体而言, 孤独症的早期筛查通常分为两个阶段。一级筛查旨在从普通儿童群体中识别疑似 ASD 患儿, 常用的筛查工具包括: 幼儿孤独症筛查量表(CHAT; Baron-Cohen et al., 1992)及其修订版(M-CHAT; Robins et al., 2001), 以及幼儿孤独症筛查量表-23 (CHAT-23; 龚郁杏 等, 2015; Wong et al., 2004)等。对于一级筛查阳性的儿童, 需进入二级筛查阶段, 采用更专业化的评估工具进行进一步鉴别。此阶段常用的评估工具包括: 儿童孤独症行为评定量表(ABC; Krug, 1980)、克氏孤独症筛查量表(CABS; Clancy et al., 1969)、两岁儿童孤独症筛选测验(STAT; Stone et al., 2000), 以及儿童用孤独症谱系商数量表(AQ-Child; Auyeung et al., 2008)等。如果二级筛查仍为阳性, 则需借助诊断性评估工具进行确诊, 常用的诊断量表包括: 孤独症诊断访谈问卷修订版(ADI-R; Lord et al., 1994)、孤独症诊断观察量表第二版(ADOS-2; Lord et al., 2012), 以及儿童孤独症评定量表

(CARS; 卢建平 等, 2004)等。然而, 这些筛查工具在临床应用中面临诸多挑战。首先, 筛查过程包含量表填写、病史采集、临床观察和综合评分等多个环节, 整体评估耗时较长, 影响筛查效率。其次, 准确实施早期筛查要求临床医生具备扎实的孤独症儿童发育特征和临床表现的专业知识储备, 这需要通过系统化的专业培训来确保医生能够熟练掌握筛查工具的使用方法, 并对观察到的儿童行为作出准确判断。但受限于临床工作负荷和培训资源, 开展系统性的筛查培训存在现实困难。因此, 开发客观、精准的孤独症早期筛查辅助工具, 构建多维度的风险评估体系, 已成为当前临床实践的迫切需求。

近年来, 随着科学技术的进步, 研究者们结合眼动、脑电以及磁共振成像等技术, 开发出一些客观的孤独症筛查工具(见综述: 常天怡 等, 2024; 李西 等, 2022; 朱宏锐 等, 2024)。在眼动筛查指标方面, 大量研究表明, 儿童异常的视觉偏好和注视特征, 如对面孔及其核心区域(尤其是眼睛区域)的注视减少、对社交场景注视降低、对非社交场景注视增加等, 均可以作为孤独症早期筛查的重要指标。例如, Liu 等人(2016)发现, 在静态面孔识别任务中, 通过分析儿童对面孔尤其是核心区域的扫描模式, 能够有效区分 4~11 岁的孤独症儿童与正常发展儿童。类似地, 在动态面孔识别任务中, 孤独症儿童在观看动态视频时, 对人物眼睛、鼻子、嘴巴、脸颊等区域的注视时间显著减少, 尤其是对嘴巴和身体的注视时间, 能够有效将其与健康对照组儿童区分开(Wan et al., 2019)。此外, 研究者通过对比孤独症儿童对几何图形和社交场景的注视偏好, 一致发现孤独症儿童更倾向注视重复的几何图形, 而对各类社交场景关注显著较少(Moore et al., 2018; Pierce et al., 2016; Wen et al., 2022)。

在脑电筛查指标方面, 研究者们结合 EEG 数据和机器学习技术, 开发出多种早期筛查指标。例如, Kang 等人(2020)采集了 3~6 岁儿童在静息状态和观看面孔图片过程中的 EEG 数据, 并计算在 δ 、 θ 、 α 、 β 和 γ 频段的相对功率。结果显示, 孤独症儿童在 θ 频段的脑电功率显著高于健康对照组, 而在 β 和 γ 频段的脑电功率则显著低于健康对照组。此外, 利用这 5 个频段的相对功率结合支持向量机(Support Vector Machine, SVM)算法,

能够有效区分健康儿童和孤独症儿童。

在磁共振成像筛查方面,孤独症被认为与发育早期脑容量的异常增长密切相关,因此脑容量差异可以作为辅助早期筛查的指标(Hazlett et al., 2017)。例如,Shen 等人(2018)采用结构磁共振成像(sMRI)技术,对 159 名 2~4 岁孤独症儿童和 77 名正常发育儿童的轴外脑脊液体积和脑体积进行了测量。研究发现,在控制脑体积、体重、性别和年龄等变量后,孤独症儿童的轴外脑脊液体积较正常发育组儿童显著增加 15.1%。同时,以轴外脑脊液体积、脑体积及头围等指标为特征向量,结合机器学习算法,能够有效预测儿童是否诊断为孤独症。此外,静息态功能磁共振成像(rsfMRI)研究表明,静息态功能连接模式也可以作为孤独症潜在的生物标记物(Reiter et al., 2021; Sun et al., 2021)。

尽管目前基于眼动、脑电和磁共振成像技术的孤独症筛查工具已取得一定进展,但这些工具的实验任务设计仍存在局限性。现有研究多集中于基础的情绪识别和视觉偏好任务(如几何图形与社交场景的对比),且多以静态图片作为刺激材料。虽然近年来部分研究开始尝试引入真实的社交场景,但其任务设计仍局限于儿童被动观察他人在社交情境中的情绪和行为表现,未能充分反映儿童在真实互动中的动态特征。因此,目前尚缺乏基于儿童在真实社交情境中的情绪和行为表现,自动提取客观指标以进行孤独症筛查的有效工具。这一局限严重制约了筛查工具的生态效度及其在临床实践中的推广价值。

值得注意的是,儿童的社交技能主要是在真实的人际互动中,尤其是亲子互动的过程中逐步形成和发展的。因此,开发以亲子同步性为客观指标的孤独症早期筛查工具,可以为临床实践提供新的思路和技术支持。然而,作为筛查工具,其核心在于具备客观、可量化的指标。因此,如何对实时进行的亲子互动中的行为和神经生理同步性进行量化评估,尤其是提取自动化、标准化的评估指标,成为当前研究面临的重要技术挑战。

在动作同步性指标的研究中,以往研究主要是采用结构化的行为任务(如,合作按键),然后通过计算互动双方共同按键反应的时间差作为行为同步性的量化指标,即,时间差越短,动作同步性程度越高(Kruppa et al., 2021; Wang et al.,

2020)。然而,这类结构化的行为任务存在生态效度不足的问题,难以真实反映自然情境中的人际互动特征。为克服这一局限,近年来一些研究开始关注真实人际互动中的同步性,例如自由互动(free play)和自由谈话中的动作同步性(Chen et al., 2023; Zampella et al., 2020)。但随之而来的问题是无法客观地量化动作同步性的程度,由于自然场景中发生的人际互动是无规律、复杂和充满不确定性的,因而只能通过研究者对人际互动录像进行行为编码的方式来进行估计,这种方法主观性强且效率低下。尽管许多研究表明,孤独症儿童在人际互动中动作同步性较差可能是其社交沟通障碍的病理机制(Fitzpatrick et al., 2017; Kaur et al., 2018),但现有评估方法的主观性严重限制了这一研究结论在孤独症早期筛查实践中的应用。

为解决上述问题,近年来计算机科学和人工智能技术的进步为人际同步性的客观量化提供了新的可能性。基于 AlphaPose 的多人姿态估计模型(regional multi-person pose estimation, RMPE)为客观计算真实互动情境中互动双方的动作同步性提供了技术支持(Fang et al., 2017, 2022; Li et al., 2019)。AlphaPose 是一种分阶段的检测模型,采用自上向下的方法,首先检测出图片或视频信息中的人体区域并用矩形框的方式进行标记,再通过人体姿态估计算法对检测到的人体区域进行关键节点检测,进而进行姿态估计。最近的一项研究应用这一技术客观量化了孤独症幼儿与教师在自由玩耍过程中的动作同步性(Chen et al., 2023)。结果发现,相比于正常发展儿童,孤独症幼儿与教师在上肢和躯干上的动作同步性较低,趋近于随机水平,且动作同步性水平与幼儿的孤独症症状显著负相关。这一研究提示,可以运用机器学习的技术,分析亲子在真实互动中的动作同步性程度。

此外,目前尚无研究探讨表情同步性的量化计算。虽然一些研究发现,相比正常亲子,孤独症儿童在人际互动中的表情同步性程度较低,并且表情同步性水平与孤独症症状显著负相关(Ting & Weiss, 2017; Valentovich et al., 2018)。然而,在这些研究中,表情同步性也都是通过行为编码的方式来进行评估的。如何对互动对象的面部表情进行客观地量化分析也是一个重要的技术挑战。

新近的面部动作编码系统——FaceReader,

可以自动识别和分析高兴、悲伤、愤怒、惊奇、害怕、厌恶 6 种基本情绪和中性情绪状态, 对不同类型的面部表情的平均识别准确率高达 99% (Stöckli et al., 2018)。研究表明, 该系统可以较为有效地识别中国人的面孔情绪(施聪莺, 李晶, 2018)。然而, 目前尚无研究应用该系统来对孤独症亲子进行研究。在生理和神经同步性指标方面, 目前也尚无研究将其应用于孤独症的筛查实践中。

3 研究构想

在人际同步性理论的指导下, 本研究将结合多人姿态评估、面部表情自动识别、生理测量、行为编码以及 fNIRS 超扫描技术, 探索孤独症儿童与父母在自然互动过程中的行为同步性及其神经生理机制, 并探索以亲子同步性为客观指标进行孤独症社交沟通障碍早期筛查的可能性。研究 1 通过行为实验对孤独症亲子在自由互动中面部表情和肢体动作的同步性进行全面评估, 考察孤独症亲子行为同步性的特征, 并检验其与儿童社交沟通障碍的关系。研究 2 通过运用生理多导仪和 fNIRS 超扫描技术, 考察孤独症亲子在互动中的 RSA 同步性和脑间同步性, 明确亲子行为同步性的神经生理机制及其对孤独症儿童社交沟通障碍的影响。研究 3 通过追踪研究设计和机器学习的方法, 探索高危孤独症幼儿早期与父母的行为和神经生理同步性对其 1 年后的孤独症诊断的预测作用, 以验证运用亲子同步性作为客观指标进行

孤独症早期筛查的可能性。整体研究框架见图 1。

3.1 研究 1: 亲子行为同步性与社交沟通障碍的关系

研究 1 将探究孤独症儿童与父母在自由互动过程中的行为同步性(包括动作和情绪同步性), 并检验其与儿童社交沟通障碍的关系。目前, 研究者们青睐使用结构性(structured)和节奏性(rhythmic)强的行为任务, 如合作按键、拍手和共同敲鼓等来创建人际同步性的场景(Fitzpatrick et al., 2017; Fulceri et al., 2018)。因为运用这些结构性强的任务可以较为容易地评估人际互动中的行为同步性。但是, 在这些任务中表现出的行为同步性是有目的、有意识的同步(intentional synchrony), 与自然场景中自发产生的行为同步(spontaneous synchrony)具有较大的差异, 真实的人际互动是更为复杂的、非结构化的, 以及充满不确定性的, 因而很难将相关研究发现有效地推论到真实的人际互动中(Georgescu et al., 2020; Zampella et al., 2020)。为了真实地了解孤独症儿童与父母在互动中的同步性特征, 研究 1 采用亲子自由互动(free play)任务。

3.1.1 被试

本研究拟招募 100 对亲子, 包括 50 名 3~6 岁孤独症儿童以及 50 名正常发展儿童。孤独症儿童的入组标准如下: (1)由临床医生根据《精神障碍诊断与统计手册(第五版)》(DSM-5; APA, 2013)中关于孤独症谱系障碍的诊断标准确诊; (2)通过孤

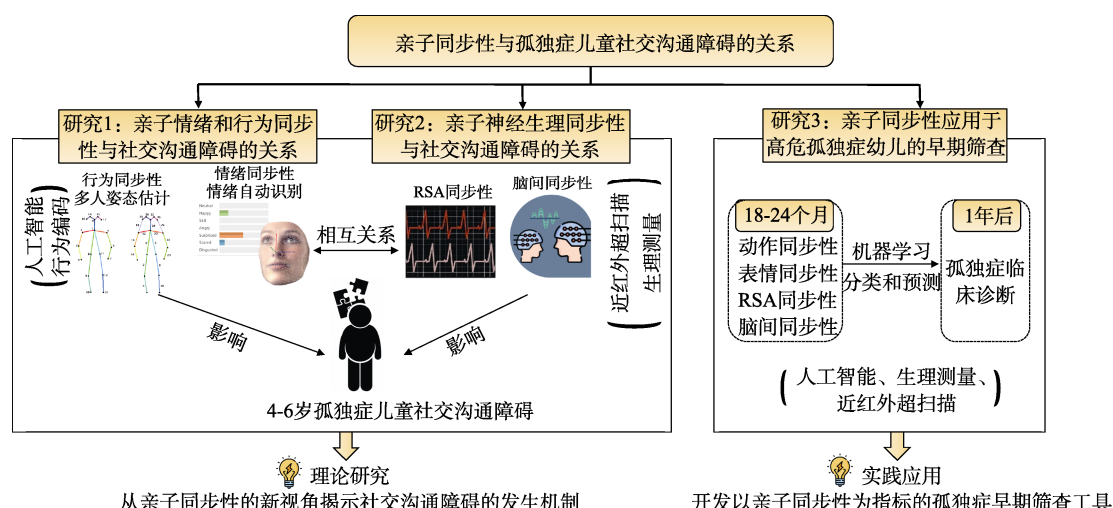


图 1 本研究整体研究框架

独症诊断观察表第二版(ADOS-2)和儿童孤独症评定量表(CARS)进行诊断确认; (3)排除其他神经发育障碍或严重躯体疾病。正常发展儿童的入组标准为: (1)年龄、性别及智商与孤独症儿童相匹配; (2)无任何神经发育障碍、精神疾病或躯体疾病。

3.1.2 研究方法

孤独症亲子到达实验室后, 父母填写基本人口学信息的问卷调查(如, 儿童的性别、出生日期、孤独症诊断的时间等), 并填写社交反应量表-第二版(Social Responsiveness Scale, 2nd Edition, SRS-2; Constantino & Gruber, 2012)来报告儿童的社交沟通能力。随后, 亲子完成15分钟的自由互动任务, 通过录像的方式记录亲子互动过程中的面部表情和肢体动作的信息。

3.1.3 数据分析和研究假设

情绪同步性分析: 运用面部表情分析系统对亲子互动过程中面部表情进行自动识别与分析。首先, 进行人脸查找(face finding), 使用基于深度学习的人脸查找算法查找人脸; 随后, 进行人脸建模(face modeling), 使用近500个关键点制作准确的人工人脸模型; 最后, 进行人脸分类(face classification), 用人工神经网络对表情进行分类。运用该面部表情分析系统, 可以识别视频数据中人脸在每0.3秒内的高兴、悲伤、愤怒、惊奇、害怕、厌恶6种基本情绪和中性情绪的百分比, 以及情绪消效价和唤醒度、视线方向等信息。

基于面部表情自动识别和分析的数据, 进行亲子表情同步性的计算。通过层次线性模型(Hierarchical Linear Modeling, HLM)对亲子双方自动提取的面部表情数据进行计算, 分析亲子表情同步性程度, 具体的公式如下:

第一层:

儿童的表情成分 $t = b_0 + b_1 \text{ 时间} + b_2 \text{ 父母的表情成分} + \varepsilon_t$

第二层:

$$b_0 = \gamma_{00} + v_0$$

$$b_1 = \gamma_{10} + v_1$$

$$b_2 = \gamma_{20} + v_2$$

如上述公式所示, 儿童在当下时间点 t 的表情成分数据为因变量。在第一层中, 加入时间变量以控制儿童的面部表情成分随时间的变化; 加入父母在当下时间的面部表情成分数据, 因而, b_2

代表亲子面部表情同步性系数。在第二层中, 未加入其它亲子间变量。随后, 从第二层的残差数据中提取代表亲子表情同步性水平(γ_{20})的经验贝叶斯系数(Empirical Bayes coefficient, EB 系数), 该系数用于量化每对亲子的表情同步性。最后, 通过回归分析检验亲子表情同步性对孤独症儿童社交沟通障碍的预测作用。我们假设, 在自由互动过程中, 亲子间情绪同步性程度越低, 孤独症儿童的社交沟通障碍越严重。

动作同步性分析: 采用 AlphaPose 多人姿态估计模型(Fang et al., 2017, 2022)计算亲子互动过程中动作同步性的程度。具体流程如下: 首先, 通过快速基于区域的卷积神经网络(Faster Region-based Convolutional Neural Network, Faster R-CNN2)对输入的视频数据进行人体区域检测; 其次, 运用区域多人姿态估计算法(Regional Multi-person Pose Estimation, RMPE)对检测到的人体区域进行姿态估计; 最后, 基于先前研究(Chen et al., 2023; Georgescu et al., 2020), 使用窗口互相关(Windowed Cross-Correlation, WCC)算法来量化亲子实时互动过程中的动作同步性程度。同样采用回归分析来检验动作同步性对孤独症儿童社交沟通障碍的预测作用。我们假设, 在自由互动过程中, 亲子间动作同步性程度越低, 孤独症儿童的社交沟通障碍越严重。

3.2 研究2: 亲子神经生理同步性与社交沟通障碍的关系

研究2拟采用多个自然互动情境来验证研究1的结果, 并进一步探究孤独症亲子的动作和表情同步性是否能够反映在生理和神经同步性上, 用以揭示亲子行为同步性背后的神经生理机制, 及其与孤独症儿童社交沟通障碍的关系。由于自主神经系统和中枢神经系统(大脑)均为持续进行的社会互动提供生理方面的支持, 因而互动对象在自主神经系统的唤醒水平和大脑激活水平上的同步性, 可能反映了互动双方对外界刺激的共同注意和对彼此行为和情绪状态的相互理解(Gvirts & Perlmutter, 2020; Nguyen et al., 2020)。儿童的社交沟通障碍会严重破坏亲子互动, 使亲子在互动中表现出情绪状态不同步(Ting & Weiss, 2017), 互动行为缺乏灵活性等特点(Valentovich et al., 2018)。根据生理-行为同步性理论(Bio-behavioral synchrony theory; Feldman, 2007, 2012), 亲子生理

和行为同步性是紧密相连的, 因此, 儿童的社交沟通障碍也可能使得亲子双方的生理或神经活动不匹配。

3.2.1 研究方法

本研究的被试同研究 1。实验过程中, 孤独症儿童与父母完成三个互动任务(自由互动、合作绘画、冲突话题讨论), 用以模拟真实互动中最常见的场景。在亲子互动的过程中使用 BioPac MP160 生理多导仪实时采集亲子双方的心率和呼吸数据, 并用 fNIRS 超扫描技术同时记录亲子双方的大脑活动水平。主要关注的脑区为前额叶(PFC), 因为它与人际互动过程中对外界刺激的共同注意及互动对象间行为和情绪的相互理解紧密相关(Nguyen et al., 2021; Quiñones-Camacho et al., 2020)。

3.2.2 数据分析和研究假设

对亲子的心率数据进行离线分析, 计算亲子 RSA 同步性程度。首先, 通过 MindWare HRV 软件对亲子原始的心电和呼吸数据进行分析得到原始的 RSA 数值。根据心率变异性的频域计算指南(Task force of the European society of cardiology the North American society of pacing electrophysiology, 1996), 提取在呼吸频率范围内心电信号的 R 波时间序列, 在这一过程中, 将儿童的带通滤波设定为 0.24~1.04 Hz, 父母的带通滤波设定为 0.12~0.40 Hz, 以此作为亲子在互动任务中的 RSA 原始数值。将提取后的 RSA 数据以 30 秒的间隔进行分割用于随后的同步性分析。运用 HLM 模型计算亲子 RSA 同步性, 具体计算方法同研究 1 中的表情同步性计算方式。

计算亲子脑间同步性水平。首先, 使用 Matlab 软件中的 Homer 2 工具箱对近红外光谱数据进行预处理。随后, 通过调用“Motion_Artifacts_By_Channel”功能来检测每个通道的动作伪迹。使用基于样条插值(spline interpolation)的运动校正算法对伪影进行校正(Scholkmann et al., 2010)。再根据修正的比尔-朗伯定律将预处理后的光密度信号转化为氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白浓度。最后, 通过调用 Matlab 微波工具箱(Wavelet Toolbox)中的微波函数(wcoherence function)中的微波转换一致性(WTC; Grinstead et al., 2004)指标来计算亲子脑间同步性。

通过相关分析和回归分析的方法, 探究亲子表情和动作同步性与 RSA 同步性和脑间同步性的

关联。同时, 检验亲子行为和神经生理同步性对孤独症儿童社交沟通障碍的解释和预测作用。研究 2 假设: (1)在三个互动任务中, 亲子情绪和动作同步性水平与 RSA 同步性和脑间同步性水平均显著正相关; (2)亲子的 RSA 同步性和脑间同步性水平越低, 孤独症儿童的社交沟通障碍越严重。

3.3 研究 3: 亲子同步性应用于高危孤独症幼儿的早期筛查

研究 3 将通过机器学习的方式, 以高危孤独症幼儿与父母的动作、表情、生理和神经同步性为指标, 来预测幼儿 1 年后的孤独症诊断结果, 以考察运用亲子同步性的客观指标进行孤独症早期筛查的可能性。由于社会交流是互动对象间实时动态交互的过程, 因而人际同步性可能是孤独症社交沟通障碍潜在的发生机制(Georgescu et al., 2020; McNaughton & Redcay, 2020)。基于研究 1 和研究 2 的理论研究结果和技术手段(包括基于 AlphaPose 模型的多人姿态估计、面部表情自动识别、fNIRS 超扫描技术), 研究 3 将测量 18~24 个月高危孤独症幼儿在与父母自由互动过程中的动作、表情, 以及生理和脑间同步性水平。同时, 采用机器学习的技术来对 1 年后幼儿的孤独症诊断结果进行预测。

3.3.1 被试

计划招募 100 对亲子, 其中 50 名为经临床医生评估为高危孤独症的 18~24 个月幼儿, 50 名为与高危孤独症幼儿年龄和性别匹配的正常发展幼儿。根据美国儿科学会(AAP)有关在儿童健康体检中应对所有 18~24 个月的幼儿进行孤独症筛查的建议, 并且一些孤独症临床筛查工具的适用对象也大致在这一范围(如, M-CHAT 量表的适用对象是 16~30 个月的幼儿), 因此本研究选取 18~24 个月的高危孤独症幼儿为研究对象。

高危孤独症幼儿有以下几种情况: (1)有一个或多个被确诊为孤独症的兄弟姐妹; (2)早产儿(< 32 周)、低体重(< 1500 g)、小于胎龄儿、大于胎龄儿(> 95th 出生体重百分数), 且经过临床医生评估具有孤独症风险; (3)根据《孤独症谱系障碍儿童早期识别筛查和早期干预专家共识》, 幼儿在 2 岁前表现出不(少)看、不(少)应、不(少)指、不(少)语、不当的“五不”行为, 且经过临床医生评估具有孤独症风险; (4)临床医生根据 M-CHAT 量表筛查后有孤独症风险。

3.3.2 研究方法

研究3分为两个阶段：阶段一为幼儿亲子互动实验。本研究招募18~24个月的高危孤独症幼儿和正常发展幼儿及其父母，在实验室环境下完成15分钟亲子自由互动任务，并采集亲子互动的录像、心电和呼吸、大脑活动数据。具体任务流程、数据采集及亲子同步性数据分析的方式同研究1和研究2。阶段二为孤独症诊断情况的追踪。1年后，追踪高危孤独症幼儿和正常发展幼儿是否被临床诊断为孤独症。

3.3.3 数据分析和研究假设

为了检验以亲子同步性作为客观指标来进行孤独症早期筛查的可行性，研究3采用机器学习的经典算法——支持向量机(SVM)对1年后幼儿是否会被诊断为孤独症进行预测。SVM因其能够有效处理高维数据(即使在数据维度高于样本量的情况下仍然表现良好)以及较强的泛化能力而被选用。具体计算流程如下：首先，将高危孤独症幼儿和正常发展幼儿在18~24个月时与父母互动中的情绪和动作同步性、RSA同步性以及脑间同步性数据作为核心特征，通过主成分分析方法对训练数据进行特征提取，通过将高维数据投影到低维度数据空间来筛选出最显著的特征。随后，基于提取的特征，使用训练集标签优化模型，构建能够区分高危孤独症幼儿与正常幼儿的决策函数。针对样本量较小问题，本研究使用留一交叉验证(leave-one-out cross-validation, LOOCV)的方法，通过循环留出的被试进行预测，以提升模型的稳健性。最后，通过准确性(accuracy)、敏感性(sensitivity)、特异性(specificity)以及接受者操作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC曲线)等指标对训练好的模型进行算法评估。本研究假设，基于亲子情绪、行为、生理和神经同步性数据构建的SVM模型可以较为准确地对高危孤独症幼儿和正常幼儿进行分类，并能够较为准确地预测高危孤独症幼儿是否会在1年后被诊断为孤独症。

4 理论建构

社交沟通障碍是孤独症儿童的核心症状之一，其机制一直是学界关注的重要问题。然而，传统研究多从个体层面探讨孤独症儿童的社交缺陷，例如社会性注意减少、共情能力缺陷、情绪调节

障碍等(Del Bianco et al., 2021; Griffin et al., 2021)。尽管这些研究在一定程度上揭示了孤独症儿童在社会信息加工和互动中的困难，但它们未能充分解释其在现实社交情境中的系统性互动失败机制。社交沟通的本质是人与人之间的互动过程，因此，孤独症儿童的社交沟通障碍不应仅被视为其个体能力的缺陷，而应被理解作为一种动态的、关系性的现象。

人际同步性理论提供了一种全新的视角来理解社会互动，它强调个体与互动对象在情绪、动作、言语和神经生理水平上的协调一致性(Feldman, 2007, 2012)。社会互动的成功不仅取决于个体的社会认知能力，更依赖于互动双方在实时交流中形成的动态双向协调。已有研究表明，人际同步性在正常儿童的亲子互动和社会情感发展中起着至关重要的作用(Davis et al., 2018; DePasquale, 2020)。相比之下，孤独症儿童往往在情绪、动作、生理和神经活动等多个层面上表现出同步性困难，这可能是其社交沟通障碍的关键机制(Kruppa et al., 2021; Valentovich et al., 2018; Wang et al., 2021)。

基于此，本研究提出孤独症儿童的社交沟通障碍本质上是一种“同步性障碍”，即同步性缺陷可能导致社交情境中的交互失效，进而影响社交关系的建立和社会适应能力的发展。因此，从人际同步性的视角重新审视孤独症的社交沟通障碍，将有助于揭示其发生机制，并为早期筛查及干预提供新的理论框架。

在多种社交情境中，本研究重点关注亲子互动情境。亲子互动是儿童早期最主要的社会交往形式，而亲子同步性在儿童社会情感发展中具有核心作用(Pacia et al., 2022)。同时，本研究提出以生理和行为同步性的多个指标来深入理解孤独症儿童的社交沟通障碍。根据生理-行为同步性理论(Feldman, 2007, 2012)，成功的亲子互动需要三个层面的同步协调：行为层面(如面部表情、肢体动作)、生理层面(如RSA)以及神经层面(如前额叶皮层激活模式)。这三个层次的动态同步共同构成了亲子互动的协调基础。

然而，孤独症儿童在亲子互动中往往表现出同步性缺陷。例如，其行为同步性较低，面部表情与父母的不同步，导致社交互动中的情感共鸣减少(Valentovich et al., 2018)；自主神经系统同步性

降低, 孤独症儿童在社交情境下的 RSA 水平较低, 并且在亲子互动中的 RSA 同步性显著低于正常儿童(Wang et al., 2021); 此外, 神经同步性异常, 孤独症儿童在前额叶皮层与父母的神经同步性较低, 这可能影响其社会互动中的共同注意和情绪调节(Kruppa et al., 2021)。这些研究结果提示, 孤独症儿童的社交沟通障碍可能源于其在多个维度(表情、动作、生理和神经活动)上的动态匹配能力受损, 是多层次同步性缺陷的结果。

本研究构建的理论框架以生理-行为同步性理论(Feldman, 2007, 2012)为基础, 提出孤独症儿童的社交沟通障碍可以通过分析其亲子同步性(行为、生理、神经同步)来理解。这一理论不仅有助于解释孤独症儿童的社交困境, 还能为早期筛查提供新的测量指标。

在孤独症的早期筛查领域, 长期以来面临的挑战是, 传统筛查工具(如 M-CHAT、ADOS-2)主要依赖主观评估, 存在耗时长、对评估者的专业能力要求高等问题(蔡郑婷 等, 2022; 赵亚楠 等, 2023)。而人际同步性, 尤其是亲子同步性, 可以作为一种更客观、更自动化的辅助筛查指标。近年来, 随着人工智能技术的发展, 研究者开始探索基于多维度同步性的客观评估方法。例如, 动作同步性的测量可通过基于 AlphaPose 的多人姿态估计模型实现, 以自动量化亲子在自由互动中的肢体动作同步程度(Fang et al., 2017; Li et al., 2019)。面部表情同步性分析可借助面部动作编码系统(FaceReader)客观评估亲子间的情绪同步性, 从而避免传统行为编码的主观偏差(Stöckli et al., 2018)。生理和神经同步测量则可结合 fNIRS 超扫描技术, 实时监测亲子间的神经同步性, 为孤独症早期筛查提供神经生物学证据(Nguyen et al., 2021; Wang et al., 2020)。

本研究创新性地提出以亲子同步性为客观指标, 结合人工智能技术, 构建孤独症的早期筛查模型。通过综合分析亲子在行为(动作、表情)、自主神经系统(RSA)、神经活动(脑间同步)上的同步性特征, 开发基于机器学习的预测模型, 以实现孤独症的自动化、客观化、精准化筛查。

参考文献

蔡郑婷, 胡连信, 王泽峰, 谢广东, 林贤伟. (2022). 几种常见儿童孤独症谱系障碍筛查及诊断量表的比较研究.

中国全科医学, 25(24), 2998–3004.

常天怡, 孟凡超, 田音, 陈旭, 郑毅. (2024). 机器学习联合眼动注视模式在孤独症早期诊断中的应用. *中华精神科杂志*, 57(9), 623–628.

龚郁杏, 刘靖, 郭延庆, 宋文红, 贾美香, 李长璟. (2015). 改良婴幼儿孤独症量表中文简化版的效度和信度. *中国心理卫生杂志*, 29(2), 121–124.

李廷玉. (2017). 孤独症谱系障碍儿童早期识别筛查和早期干预专家共识. *中华儿科杂志*, 55(12), 890–897.

李西, 田真玲, 姜孟. (2022). 机器学习在孤独症筛查与诊断中的应用研究进展. *中国特殊教育*, 267(9), 47–54.

李先春, 卑力添, 袁涤, 丁雅娜, 冯丹阳. (2018). 超扫描视角下的社会互动脑机制. *心理科学*, 41(6), 1484–1491.

卢建平, 杨志伟, 舒明耀, 苏林雁. (2004). 儿童孤独症量表评定的信度、效度分析. *中国现代医学杂志*, 14(13), 119–121, 123.

施聪莺, 李晶. (2018). FaceReader 7.0 对国内常见表情图片库识别的有效性研究. *心理技术于应用*, 6(2), 100–108.

王磊, 贺荟中, 毕小彬, 周丽, 范晓壮. (2021). 社会动机理论视角下自闭症谱系障碍者的社交缺陷. *心理科学进展*, 29(12), 2209–2223.

赵亚楠, 李智文, 李琳, 关春荣, 殷玉芳, 杨逸凡, ... 贾美香. (2023). 中国 0–6 岁儿童孤独症谱系障碍筛查患病现状. *中国生育健康杂志*, 34(5), 423–428.

朱宏锐, 张华, 任珊, 梅媛, 肖归. (2024). 机器学习在婴幼儿孤独症谱系障碍早期筛查中的应用进展. *教育生物学杂志*, 12(2), 149–159.

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>

Auyeung, B., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., & Allison, C. (2008). The autism spectrum quotient: Children's version (AQ-Child). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(7), 1230–1240. <https://doi.org/10.1007/s10803-007-0504-z>.

Baker, J. K., Fenning, R. M., Erath, S. A., Baucom, B. R., Messinger, D. S., Moffitt, J., ... Bailey, A. (2020). Respiratory sinus arrhythmia, parenting, and externalizing behavior in children with autism spectrum disorder. *Autism*, 24(1), 109–120. <https://doi.org/10.1177/136236131984852>

Baron-Cohen, S., Allen, J., & Gillberg, C. (1992). Can autism be detected at 18 months? The needle, the haystack, and the CHAT. *The British Journal of Psychiatry*, 161(6), 839–843. <https://doi.org/10.1192/bjp.161.6.839>

Bolis, D., Balsters, J., Wenderoth, N., Becchio, C., & Schilbach, L. (2018). Beyond autism: Introducing the dialectical misattunement hypothesis and a Bayesian account of intersubjectivity. *Psychopathology*, 50(6), 355–372. <https://doi.org/10.1159/000484353>

Bowsher-Murray, C., Gerson, S., Von dem Hagen, E., & Jones, C. R. (2022). The components of interpersonal synchrony in the typical population and in autism: A conceptual analysis. *Frontiers in Psychology*, 13, 897015.

- <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.897015>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Data and statistics on autism spectrum disorder*. <https://www.cdc.gov/autism/data-research/index.html>
- Chen, X., Chen, J., Liao, M., & Wang, G. (2023). Early onset of impairments of interpersonal motor synchrony in preschool-aged children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 53(6), 2314–2327. <https://doi.org/10.1007/s10803-022-05472-8>
- Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodtkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social motivation theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(4), 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.02.007>
- Clancy, H., Dugdale, A., & Rendle - Short, J. (1969). The diagnosis of infantile autism. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 11(4), 432–442. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1969.tb01461.x>
- Condy, E. E., Scarpa, A., & Friedman, B. H. (2017). Respiratory sinus arrhythmia predicts restricted repetitive behavior severity. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 47(9), 2795–2804. <https://doi.org/10.1007/s10803-017-3193-2>
- Constantino, J. N., & Gruber, C. P. (2012). *Social responsiveness scale* (2nd ed.). Western Psychological Services.
- Corbett, B. A., Muscatello, R. A., & Baldinger, C. (2019). Comparing stress and arousal systems in response to different social contexts in children with ASD. *Biological Psychology*, 140, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.12.010>
- Davis, M., West, K., Bilms, J., Morelen, D., & Suveg, C. (2018). A systematic review of parent-child synchrony: It is more than skin deep. *Developmental Psychobiology*, 60(6), 674–691. <https://doi.org/10.1002/dev.21743>
- Deák, G. O., Krasno, A. M., Jasso, H., & Triesch, J. (2018). What leads to shared attention? Maternal cues and infant responses during object play. *Infancy*, 23(1), 4–28. <https://doi.org/10.1111/inf.12204>
- Del Bianco, T., Mason, L., Charman, T., Tillman, J., Loth, E., Hayward, H., ... Zwiers, M. P. (2021). Temporal profiles of social attention are different across development in autistic and neurotypical people. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 6(8), 813–824. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2020.09.004>
- DePasquale, C. E. (2020). A systematic review of caregiver-child physiological synchrony across systems: Associations with behavior and child functioning. *Development and Psychopathology*, 32(5), 1754–1777. <https://doi.org/10.1017/S0954579420001236>
- Fang, H. S., Li, J., Tang, H., Xu, C., Zhu, H., Xiu, Y., ... Lu, C. (2022). Alphapose: Whole-body regional multi-person pose estimation and tracking in real-time. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45(6), 7157–7173. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2022.3222784>
- Fang, H. S., Xie, S., Tai, Y. W., & Lu, C. (2017). Rmpe: Regional multi-person pose estimation. *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 2334–2343).
- Feldman, R. (2007). Parent-infant synchrony and the construction of shared timing; physiological precursors, developmental outcomes, and risk conditions. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(3-4), 329–354. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01701.x>
- Feldman, R. (2012). Parent-infant synchrony: A biobehavioral model of mutual influences in the formation of affiliative bonds. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 77(2), 42–51. <https://www.jstor.org/stable/23256638>
- Feldman, R. (2015). Mutual influences between child emotion regulation and parent-child reciprocity support development across the first 10 years of life: Implications for developmental psychopathology. *Development and Psychopathology*, 27(4 Pt 1), 1007–1023. <https://doi.org/10.1017/S0954579415000656>
- Fenning, R. M., Baker, J. K., & Moffitt, J. (2018). Intrinsic and extrinsic predictors of emotion regulation in children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 48(11), 3858–3870. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3647-1>
- Fitzpatrick, P., Romero, V., Amaral, J. L., Duncan, A., Barnard, H., Richardson, M. J., & Schmidt, R. (2017). Evaluating the importance of social motor synchronization and motor skill for understanding autism. *Autism Research*, 10(10), 1687–1699. <https://doi.org/10.1002/aur.1808>
- Fuchs, T., & De Jaegher, H. (2009). Enactive intersubjectivity: Participatory sense-making and mutual incorporation. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 8(4), 465–486. <https://doi.org/10.1007/s11097-009-9136-4>
- Fulceri, F., Tonacci, A., Lucaferro, A., Apicella, F., Narzisi, A., Vincenti, G., ... Contaldo, A. (2018). Interpersonal motor coordination during joint actions in children with and without autism spectrum disorder: The role of motor information. *Research in Developmental Disabilities*, 80, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.05.018>
- Georgescu, A. L., Koeroglu, S., Hamilton, A. D. C., Vogeley, K., Falter-Wagner, C. M., & Tschacher, W. (2020). Reduced nonverbal interpersonal synchrony in autism spectrum disorder independent of partner diagnosis: A motion energy study. *Molecular Autism*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s13229-019-0305-1>
- Goldstein, P., Weissman-Fogel, I., Dumas, G., & Shamay-Tsoory, S. G. (2018). Brain-to-brain coupling during handholding is associated with pain reduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(11), E2528–E2537. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703643115>
- Griffin, J. W., Bauer, R., & Scherf, K. S. (2021). A quantitative meta-analysis of face recognition deficits in autism: 40 years of research. *Psychological Bulletin*, 147(3), 268–292. <https://doi.org/10.1037/bul0000310>
- Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11(5/6), 561–566. <https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004>

- Gvirts, H. Z., & Perlmutter, R. (2020). What guides us to neurally and behaviorally align with anyone specific? A neurobiological model based on fNIRS hyperscanning studies. *The Neuroscientist*, 26(2), 108–116. <https://doi.org/10.1177/1073858419861912>
- Harrist, A. W., & Waugh, R. M. (2002). Dyadic synchrony: Its structure and function in children's development. *Developmental Review*, 22(4), 555–592. [https://doi.org/10.1016/S0273-2297\(02\)00500-2](https://doi.org/10.1016/S0273-2297(02)00500-2)
- Haskins, A. J., Mentch, J., Botch, T. L., Garcia, B. D., Burrows, A. L., & Robertson, C. E. (2022). Reduced social attention in autism is magnified by perceptual load in naturalistic environments. *Autism Research*, 15(12), 2310–2323. <https://doi.org/10.1002/aur.2829>
- Hazlett, H. C., Gu, H., Munsell, B. C., Kim, S. H., Styner, M., Wolff, J. J., ... The IBIS Network. (2017). Early brain development in infants at high risk for autism spectrum disorder. *Nature*, 542, 348–351. <https://doi.org/10.1038/nature21369>
- Hirsch, J., Zhang, X., Noah, J. A., & Ono, Y. (2017). Frontal temporal and parietal systems synchronize within and across brains during live eye-to-eye contact. *NeuroImage*, 157, 314–330. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.06.018>
- Hoehl, S., Fairhurst, M., & Schirmer, A. (2021). Interactional synchrony: Signals, mechanisms and benefits. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 16(1-2), 5–18. <https://doi.org/10.1093/scan/nsaa024>
- Jaisle, E. M., Groves, N. B., Black, K. E., & Kofler, M. J. (2023). Linking ADHD and ASD symptomatology with social impairment: The role of emotion dysregulation. *Research on Child and Adolescent Psychopathology*, 51(1), 3–16. <https://doi.org/10.1007/s10802-022-00982-6>
- Kang, J., Han, X., Song, J., Niu, Z., & Li, X. (2020). The identification of children with autism spectrum disorder by SVM approach on EEG and eye-tracking data. *Computers in Biology and Medicine*, 120, 103722. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2020.103722>
- Kaur, M., Srinivasan, S. M., & Bhat, A. N. (2018). Comparing motor performance, praxis, coordination, and interpersonal synchrony between children with and without Autism Spectrum Disorder (ASD). *Research in Developmental Disabilities*, 72, 79–95. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.10.025>
- Krug, D. A., Arick, J., & Almond, P. (1980). Behavior checklist for identifying severely handicapped individuals with high levels of autistic behavior. *Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1980.tb01797.x>
- Kruppa, J. A., Reindl, V., Gerloff, C., Oberwelland Weiss, E., Prinz, J., Herpertz-Dahlmann, B., ... Schulte-Rüther, M. (2021). Brain and motor synchrony in children and adolescents with ASD—A fNIRS hyperscanning study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 16(1-2), 103–116. <https://doi.org/10.1093/scan/nsaa092>
- Kwon, M. K., Moore, A., Barnes, C. C., Cha, D., & Pierce, K. (2019). Typical levels of eye-region fixation in toddlers with autism spectrum disorder across multiple contexts. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 58(10), 1004–1015. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2018.12.011>
- Li, M., Zhou, Z., & Liu, X. (2019). Multi-person pose estimation using bounding box constraint and LSTM. *IEEE Transactions on Multimedia*, 21(10), 2653–2663. <https://doi.org/10.1109/TMM.2019.2903455>
- Liu, W., Li, M., & Yi, L. (2016). Identifying children with autism spectrum disorder based on their face processing abnormality: A machine learning framework. *Autism Research*, 9(8), 888–898. <https://doi.org/10.1002/aur.1615>
- Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P., Risi, S., Gotham, K., & Bishop, S. (2012). *Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition (ADOS-2) Manual (Part 1): Modules 1–4*. Western Psychological Services.
- Lord, C., Rutter, M., & Le Couteur, A. (1994). Autism Diagnostic Interview-Revised: A revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 24(5), 659–685. <https://doi.org/10.1007/BF02172145>
- Lougheed, J. P., & Keskin, G. (2021). Parent - adolescent emotion dynamics at multiple time scales. *Child Development Perspectives*, 15(2), 125–131. <https://doi.org/10.1111/cdep.12409>
- McNaughton, K. A., & Redcay, E. (2020). Interpersonal synchrony in autism. *Current Psychiatry Reports*, 22(3), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11920-020-1135-8>
- Miller, J. G., Armstrong - Carter, E., Balter, L., & Lorah, J. (2023). A meta-analysis of mother-child synchrony in respiratory sinus arrhythmia and contextual risk. *Developmental Psychobiology*, 65(1), e22355. <https://doi.org/10.1002/dev.22355>
- Miller, J. G., Vrtička, P., Cui, X., Shrestha, S., Hosseini, S. H., Baker, J. M., & Reiss, A. L. (2019). Inter-brain synchrony in mother-child dyads during cooperation: An fNIRS hyperscanning study. *Neuropsychologia*, 124, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.12.021>
- Milton, D. E. (2012). On the ontological status of autism: The 'double empathy problem'. *Disability & Society*, 27(6), 883–887. <https://doi.org/10.1080/09687599.2012.710008>
- Monier, F., & Droit-Volet, S. (2019). Development of sensorimotor synchronization abilities: Motor and cognitive components. *Child Neuropsychology*, 25(8), 1043–1062. <https://doi.org/10.1080/09297049.2019.1569607>
- Montague, P. R., Berns, G. S., Cohen, J. D., McClure, S. M., Pagnoni, G., Dhamala, M., ... Fisher, R. E. (2002). Hyperscanning: Simultaneous fMRI during linked social interactions. *Neuroimage*, 16(4), 1159–1164. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1150>
- Moore, A., Wozniak, M., Yousef, A., Barnes, C. C., Cha, D., Courchesne, E., & Pierce, K. (2018). The geometric preference subtype in ASD: Identifying a consistent, early-emerging phenomenon through eye tracking. *Molecular Autism*, 9, 1–13. <https://doi.org/10.1186/>

- s13229-018-0202-z
- Murat Baldwin, M., Xiao, Z., & Murray, A. (2022). Temporal synchrony in autism: A systematic review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 9(4), 596–617. <https://doi.org/10.1007/s40489-021-00276-5>
- Neuhaus, E., Bernier, R., & Beauchaine, T. P. (2014). Brief report: Social skills, internalizing and externalizing symptoms, and respiratory sinus arrhythmia in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(3), 730–737. <https://doi.org/10.1007/s10803-013-1923-7>
- Neuhaus, E., Bernier, R. A., & Beauchaine, T. P. (2016). Children with autism show altered autonomic adaptation to novel and familiar social partners. *Autism Research*, 9(5), 579–591. <https://doi.org/10.1002/aur.1543>
- Nguyen, T., Bánki, A., Markova, G., & Hoehl, S. (2020). Studying parent-child interaction with hyperscanning. *Progress in Brain Research*, 254, 1–24. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2020.05.003>
- Nguyen, T., Schleihau, H., Kungl, M., Kayhan, E., Hoehl, S., & Vrtička, P. (2021). Interpersonal neural synchrony during father-child problem solving: An fNIRS hyperscanning study. *Child Development*, 92(4), e565–e580. <https://doi.org/10.1111/cdev.13510>
- Pacia, C., Holloway, J., Gunning, C., & Lee, H. (2022). A systematic review of family-mediated social communication interventions for young children with autism. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 9(2), 208–234. <https://doi.org/10.1007/s40489-021-00249-8>
- Pierce, K., Marinero, S., Hazin, R., McKenna, B., Barnes, C. C., & Malige, A. (2016). Eye tracking reveals abnormal visual preference for geometric images as an early biomarker of an autism spectrum disorder subtype associated with increased symptom severity. *Biological Psychiatry*, 79(8), 657–666. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2015.03.032>
- Porges, S. W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological Psychology*, 74(2), 116–143. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.06.009>
- Porges, S. W., & Furman, S. A. (2011). The early development of the autonomic nervous system provides a neural platform for social behavior: A polyvagal perspective. *Infant and Child Development*, 20(1), 106–118. <https://doi.org/10.1002/icd.688>
- Quiñones-Camacho, L. E., Fishburn, F. A., Belardi, K., Williams, D. L., Huppert, T. J., & Perlman, S. B. (2021). Dysfunction in interpersonal neural synchronization as a mechanism for social impairment in autism spectrum disorder. *Autism Research*, 14(8), 1585–1596. <https://doi.org/10.1002/aur.2513>
- Quiñones-Camacho, L. E., Fishburn, F. A., Camacho, M. C., Hlutsowsky, C. O., Huppert, T. J., Wakschlag, L. S., & Perlman, S. B. (2020). Parent-child neural synchrony: A novel approach to elucidating dyadic correlates of preschool irritability. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 61(11), 1213–1223. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13165>
- Ratliff, E. L., Kerr, K. L., Cosgrove, K. T., Simmons, W. K., & Morris, A. S. (2022). The role of neurobiological bases of dyadic emotion regulation in the development of psychopathology: Cross-brain associations between parents and children. *Clinical Child and Family Psychology Review*, 25(1), 5–18. <https://doi.org/10.1007/s10567-022-00380-w>
- Reiter, M. A., Jahedi, A., Fredo, A. J., Fishman, I., Bailey, B., & Müller, R. A. (2021). Performance of machine learning classification models of autism using resting-state fMRI is contingent on sample heterogeneity. *Neural Computing and Applications*, 33, 3299–3310. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05193-y>
- Robins, D. L., Fein, D., Barton, M. L., & Green, J. A. (2001). The Modified Checklist for Autism in Toddlers: An initial study investigating the early detection of autism and pervasive developmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(2), 131–144. <https://doi.org/10.1023/A:1010738829569>
- Scholkmann, F., Spichtig, S., Muehleemann, T., & Wolf, M. (2010). How to detect and reduce movement artifacts in near-infrared imaging using moving standard deviation and spline interpolation. *Physiological Measurement*, 31(5), 649–662. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/31/5/004>
- Scholtes, C. M., Lyons, E. R., & Skowron, E. A. (2021). Dyadic synchrony and repair processes are related to preschool children's risk exposure and self-control. *Development and Psychopathology*, 33(3), 1072–1084. <https://doi.org/10.1017/S0954579420000358>
- Shen, M. D., Nordahl, C. W., Li, D. D., Lee, A., Angkustsiri, K., Emerson, R. W., ... Amaral, D. G. (2018). Extra-axial cerebrospinal fluid in high-risk and normal-risk children with autism aged 2–4 years: A case-control study. *The Lancet Psychiatry*, 5(11), 895–904. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(18\)30294-3](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(18)30294-3)
- Stöckli, S., Schulte-Mecklenbeck, M., Borer, S., & Samson, A. C. (2018). Facial expression analysis with AFFDEX and FACET: A validation study. *Behavior Research Methods*, 50(4), 1446–1460. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0996-1>
- Stone, W. L., Coonrod, E. E., & Ousley, O. Y. (2000). Brief report: Screening tool for autism in two-year-olds (STAT): Development and preliminary data. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 30(6), 607–612. <https://doi.org/10.1023/A:1005647629002>
- Sun, J. W., Fan, R., Wang, Q., Wang, Q. Q., Jia, X. Z., & Ma, H. B. (2021). Identify abnormal functional connectivity of resting state networks in autism spectrum disorder and apply to machine learning-based classification. *Brain Research*, 1757, 147299. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2021.147299>
- Task force of the European society of cardiology the North American society of pacing electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043–1065. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Ting, V., & Weiss, J. A. (2017). Emotion regulation and

- parent co-regulation in children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 47(3), 680–689. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-3009-9>
- Valentovich, V., Goldberg, W. A., Garfin, D. R., & Guo, Y. (2018). Emotion coregulation processes between mothers and their children with and without autism spectrum disorder: Associations with children's maladaptive behaviors. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 48(4), 1235–1248. <https://doi.org/10.1007/s10803-017-3375-y>
- Van Heijst, B. F., & Geurts, H. M. (2015). Quality of life in autism across the lifespan: A meta-analysis. *Autism*, 19(2), 158–167. <https://doi.org/10.1177/1362361313517053>
- Wan, G., Kong, X., Sun, B., Yu, S., Tu, Y., Park, J., ... Kong, J. (2019). Applying eye tracking to identify autism spectrum disorder in children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(1), 209–215. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3690-y>
- Wang, H., Suveg, C., West, K. B., Han, Z. R., Zhang, X., Hu, X., & Yi, L. (2021). Synchrony of respiratory sinus arrhythmia in parents and children with autism spectrum disorder: Moderation by interaction quality and child behavior problems. *Autism Research*, 14(3), 512–522. <https://doi.org/10.1002/aur.2401>
- Wang, Q., Han, Z., Hu, X., Feng, S., Wang, H., Liu, T., & Yi, L. (2020). Autism symptoms modulate interpersonal neural synchronization in children with autism spectrum disorder in cooperative interactions. *Brain Topography*, 33(1), 112–122. <https://doi.org/10.1007/s10548-019-00731-x>
- Wen, T. H., Cheng, A., Andreason, C., Zahiri, J., Xiao, Y., Xu, R., ... Pierce, K. (2022). Large scale validation of an early-age eye-tracking biomarker of an autism spectrum disorder subtype. *Scientific Reports*, 12(1), 4253. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08102-6>
- Wong, V., Hui, L. H. S., Lee, W. C., Leung, L. S. J., Ho, P. K. P., Lau, W. L. C., ... Chung, B. (2004). A modified screening tool for autism (Checklist for Autism in Toddlers [CHAT-23]) for Chinese children. *Pediatrics*, 114(2), e166–e176. <https://doi.org/10.1542/peds.114.2.e166>
- World Health Organization. (2024). *Autism*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
- Yi, L., Wang, Q., Song, C., & Han, Z. R. (2022). Hypo- or hyperarousal? The mechanisms underlying social information processing in autism. *Child Development Perspectives*, 16(4), 215–222. <https://doi.org/10.1111/cdep.12466>
- Yu, C., & Smith, L. B. (2017). Hand-eye coordination predicts joint attention. *Child Development*, 88(6), 2060–2078. <https://doi.org/10.1111/cdev.12730>
- Zampella, C. J., Csumitta, K. D., Simon, E., & Bennetto, L. (2020). Interactional synchrony and its association with social and communication ability in children with and without autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 50(9), 3195–3206. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04412-8>
- Zhou, H., Xu, X., Yan, W., Zou, X., Wu, L., Luo, X., ... LATENT-NHC Study Team. (2020). Prevalence of autism spectrum disorder in China: A nationwide multi-center population-based study among children aged 6 to 12 years. *Neuroscience Bulletin*, 36(9), 961–971. <https://doi.org/10.1007/s12264-020-00530-6>

The neurophysiological mechanism of social communication impairments in children with autism: A perspective from parent-child synchrony

WANG Hui^{1,2}, HAN Zhuo²

⁽¹⁾ Department of Psychology, Faculty of Arts and Sciences, Beijing Normal University at Zhuhai, Zhuhai 519087, China)

⁽²⁾ Faculty of Psychology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Social communication impairment is a core symptom of autism spectrum disorder. Previous research has predominantly interpreted this core symptom through individual factors, such as deficits in social attention or empathy, overlooking the inherently interpersonal nature of social communication. The theory of interpersonal synchrony posits that behavioral and physiological synchrony between interacting parties is essential for maintaining and enhancing interpersonal communication. Therefore, this study aims to integrate artificial intelligence with functional near-infrared spectroscopy hyperscanning technology to investigate the characteristics and neurophysiological mechanisms of parent-child synchrony in children with autism and to analyze its relationship with their social communication impairments. This study could provide a theoretical framework for elucidating the pathological mechanisms of social communication impairments from the novel perspective of parent-child synchrony and offer technical support for the early screening of autism.

Keywords: autism spectrum disorder, social communication impairment, parent-child synchrony, early screening