自闭症儿童头部旋转运动人际同步缺陷及其与自闭特征的关系

陈献科^{1,2}, 陈靓影^{1,2*}

1. 华中师范大学教育大数据应用技术国家工程实验室, 武汉 430079;

2. 华中师范大学国家数字化学习工程技术研究中心, 武汉 430079

* 联系人, E-mail: chenjy@mail.ccnu.edu.cn

2021-10-08 收稿, 2021-11-10 修回, 2021-11-11 接受, 2021-11-18 网络版发表

国家自然科学基金(61977027)和湖北省科技创新重大专项(2019AAA044)资助

摘要 自闭症儿童在社会互动中身体运动的人际同步低于典型发展儿童. 除身体运动外, 头部旋转运动在互动中也传递了交流信息. 为探索自闭症儿童头部旋转运动的人际同步是否也表现出这种缺陷, 本研究招募了47名4~6岁的儿童, 包括自闭症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)儿童23名、典型发展(typically developing, TD)儿童24名, 以及15名教师, 采集了每名儿童与熟悉的教师间社会互动的视频, 并比较了ASD组和TD组在yaw、pitch和roll三个方向上头部旋转运动的人际同步. 为进一步理解头部旋转运动同步与自闭特征的关系, 采用自闭症谱系商量表测量了自闭特征并与头部旋转运动同步进行了相关性分析. 结果发现, ASD组儿童与社交同伴的头部旋转运动是同步的, 但是yaw和roll方向上的同步程度低于TD组. 儿童在互动中表现出的yaw方向上的头部旋转运动同步与自闭特征中的注意转换呈显著负相关. 结果表明, 自闭症儿童的头部旋转运动表现出人际同步缺陷, 这一缺陷与其注意转换相关. 本研究从注意的角度揭示了自闭症儿童在自然社会互动过程中的社交行为特点, 具有较好的生态效度, 有助于理解自闭症儿童在真实社交中表现出的注意问题和社交缺陷.

关键词 自闭症儿童, 社会互动, 人际同步, 头部旋转运动, 自闭特征

自闭症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是一种神经发育障碍, 社会互动和交流的缺陷是其核心症状之一^[1]. 2020年, 美国疾病控制与预防中心(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)报告自闭症患病率为1/54, 并且在持续增长. 自闭症极易发展为终身残障, 给社会和家庭带来巨大的经济与精神负担. 自闭症的社交缺陷不仅体现在互动的缺失上, 如不能完成话轮转换式的对话、缺少互动的发起行为和对他人社交请求的回应, 也体现在他们社会互动方式的异常上, 例如一些自闭症儿童在社交上是积极的, 但是他们以一种怪异的(odd)和单方面的(one-sided)方式与他人互

动^[2]. 近年来, 一些研究从运动人际同步的角度来研究自闭症的社会互动过程, 以增进对自闭症社交缺陷的理解^[3]. 这些研究多集中于身体整体运动的同步, 或是任务相关的节律运动同步. 在社会互动中, 除了身体运动外, 头部的运动也可以传递交流信息, 但二者不尽相同. 目前为止, 关于头部运动同步, 尤其是头部旋转运动同步的研究是不足的. 因此有必要探索自闭症儿童头部旋转运动人际同步的特点, 并分析头部旋转运动同步与自闭特征的关联.

运动人际同步是行为人际同步的一个方面. 行为人际同步指的是参与社会互动社交同伴间的行为在时

引用格式: 陈献科, 陈靓影. 自闭症儿童头部旋转运动人际同步缺陷及其与自闭特征的关系. 科学通报, 2022, 67: 770–783

Chen X K, Chen J Y. Impairment of interpersonal synchrony of head rotation movement and its association with autistic traits in children with autism spectrum disorder (in Chinese). Chin Sci Bull, 2022, 67: 770–783, doi: [10.1360/TB-2021-0856](https://doi.org/10.1360/TB-2021-0856)

间和形式上是非随机、模式化和同步的^[4]。社会互动中的行为同步既表现在言语行为上也表现在非言语行为如运动上,例如互动双方运动的量在时序上存在的显著相关^[5]。大量研究表明,运动人际同步是社会互动中普遍存在的现象^[6]。根据具身认知理论,知觉与运动相关联^[7],因此人际间身体状态的同步可能反映了心理状态的共享^[8]。而心理状态的共享对于社交理解^[9],以及建立人际关系起关键的作用^[10]。因此,理论上,运动人际同步具有重要的社交功能。相当多的实证研究支持了这一观点。总体上,大部分研究发现,运动人际同步与成功社会互动的多个方面有关,包括社交单元的形成^[11]、友好关系的建立^[12]、亲密感^[7,13]以及合作^[14]。

社会互动中的运动人际同步特征与互动的成功有关,而自闭症患者的社会互动存在缺陷,因此社会互动中的人际运动同步是一个重要的描述自闭症社交特点的角度,同时也提供了一个潜在的途径去理解自闭症的社交缺陷。自闭症人际运动同步的研究主要在两类情境中开展:结构化人际运动任务和自然社会互动。结构化人际运动任务往往社交需求较少,主要关注参与者双方在任务相关的节律动作上的同步,典型的任务包括摇椅范式、摆锤摇摆范式、动作模仿和人际拍手任务等。但即使在这样一种低社交需求的情境中,相比于由典型发展个体组成的控制组,自闭症组仍然表现出了运动人际同步的降低^[15-18]。Fitzpatrick等人^[8,17,19,20]进行了一系列研究自闭症个体在结构化任务中表现出的运动人际同步特点与自闭症社交缺陷的关系。其中较为一致的结论是,人际运动同步与社会认知能力,尤其是心理理论呈显著负相关。此外,表现出更高水平同步的自闭症个体具有更轻度的自闭症症状。结构化的人际运动任务不同于真实的社会互动,基于这一类任务得到的运动人际同步的结论难以泛化到自闭症个体的现实社交生活之中。因此,最近的研究开始关注自然互动场景中自闭症个体的运动人际同步特点。相关研究发现,在神经心理测试的情境中,自闭症儿童与施测人员的身体运动同步低于典型发展儿童^[21]。在更加自然的互动情境,如自然对话中,如果对话双方中有一方患有自闭症,则他们全身运动的人际同步程度相比对话双方均为正常发展个体的情况更低^[22]。上述两个研究均基于客观量化的方法计算身体运动的人际同步程度。另外一项研究则发现,在儿童与成人的对话互动中,自闭症儿童与成人身体运动的人际同步的降低是能够被观察人员所感知到的^[23]。类似于节律性的运动同步,

自然互动场景下自闭症的运动人际同步同样与自闭症的症状严重程度和社交能力相关联。表现出更高同步水平的自闭症个体症状严重程度更低,具有更好的交流能力和心理理论^[23,24]。值得注意的是,已有研究表明,自闭症的运动人际同步缺陷是一种量上的降低而非完全的缺失^[22,24]。

人际同步不仅发生在任务相关的节律运动、自然场景下的全身运动,也发生在头部运动。已有研究表明,头部运动和身体运动同步所携带的信息是有区别的,并且分别与心理治疗结果的不同方面相关联^[25]。这提示,应当区分考察头部运动同步和身体运动同步。头部运动在社会互动中传递了一定的交流信息。头部朝向是社交注意方向的线索之一^[26],同时头部运动调节了话轮转换^[27]并提供了语音感知的视觉线索^[28]。考虑到头部运动的功能,头部运动同步也是研究社交障碍的可能途径。目前已经有研究发现,精神分裂症患者的头部运动人际同步特点与症状、社交能力以及社交功能有关^[29]。对自闭症,有研究表明,相比于典型发展儿童,自闭症儿童在社会互动中表现出了更低的头部运动人际同步^[21]。上述研究中的头部运动通过视频中头部兴趣区在相邻帧间发生变化的像素数量进行度量。这种方法实际上测量的是头部在空间中的位移程度。除了头部在空间中的位移运动同步外,头部旋转运动的人际同步同样具有研究价值。由于头部旋转意味着头部朝向的变化,而头部朝向与注意方向有关。因此头部旋转的同步可能与互动双方注意的协调有关。此外,情感计算领域已经开始关注头部旋转运动的人际同步,并且发现,相关指标可能是适用于情感计算的特征集^[30,31]。需要指出的是,这两类头部运动同步指标并不完全等同,头部的旋转未必伴随头部在空间位置上的变化,同样地,头部的空间位移不意味着头部旋转的必然发生。因此头部旋转运动同步所携带的信息不能够被基于头部空间位置计算的运动同步指标充分捕捉。这说明,以往研究仅仅揭示了自闭症个体头部运动人际同步的一个侧面,头部的旋转运动同步是否表现出缺陷及其与自闭特征间的关系尚不清楚。回答上述问题有助于更全面地认识自闭症头部运动人际同步特点,进而更深入地理解自闭症的社交缺陷。

本研究的主要目的是探索学龄前自闭症儿童在自然社会互动过程中头部旋转运动人际同步的特点。我们选择学龄前儿童作为研究对象出于两个原因:(1)由于自闭症是一种发展性障碍,对早期发展阶段的研究

有助于理解后续的异常发展; (2) 自闭症的确证一般要在2周岁以后. 学龄前发展阶段的选择既保证了样本处于相对较早的发展阶段, 又保证了准确确证的样本来源. 选取自然社会互动作为观测运动人际同步的情境是为了更好地将研究结果泛化到自闭症的日常社交生活中, 提高研究的生态效度. 此外, 本研究选择儿童熟悉的教师作为社交同伴. 这种选择出于两个考虑: 第一, 学龄前儿童大多会进入幼儿园, 许多特殊儿童也会进入特教学校接受干预, 儿童与教师的互动逐渐成为儿童社交生活中的重要部分; 第二, 在学龄前阶段, 教师与儿童的互动是重要的. 有研究表明, 幼儿园教师与儿童的互动可以增进师生关系, 进而促进儿童的学业和社交发展^[32,33]. 基于已有自闭症身体运动和头部运动人际同步研究的发现, 本研究假设自闭症儿童与同伴在自然社会互动过程中的头部旋转运动是同步的, 但同步水平低于典型发展儿童. 本研究也初步探索了社会互动中头部旋转运动人际同步与自闭特征的关系. 对这些变量间关系的探究能够为理解自闭特征的潜在过程和机制提供线索. 考虑到表现出更低运动人际同步的自闭症个体的症状更加严重、社会认知能力更差, 以及头部旋转同注意的关系, 本研究假设自闭症儿童的头部旋转运动同步与自闭特征中的社交技能和注意方面呈负相关.

1 对象和方法

1.1 被试

本研究招募了47名学龄前儿童被试, 其中23人为自闭症儿童(ASD), 年龄为52~74个月(男生17名), 24人为典型发展儿童(TD), 年龄为51~71个月(男生15名). 自闭症儿童招募自河南某所特教学校, 经过儿童医院临床诊断并符合美国精神障碍诊断与统计手册(第五版)(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th Edition, DSM-5)的诊断标准. 典型发展儿童招募自湖北和辽宁的三所幼儿园. 两组被试均排除了可能有视力、听力、运动方面缺陷或有神经发展障碍的儿童. 儿童的智力通过联合型瑞文测验测量(CRT-C2). 独立样本 t 检验表明, 两组儿童在智力和年龄上均无显著差异(表1). 本研究采用中国版本的自闭症谱系商-儿童版(Autism Spectrum Quotient-Children's Version, AQ-Child)对自闭症儿童进行确证并量化其自闭特征. AQ-Child是一个由父母报告的、简洁的量化测量儿童自闭

表1 被试特点

Table 1 Participants characterization

	ASD	TD	t	P
性别(男:女)	17:6	15:9		
年龄范围(月)	52~74	51~71		
平均年龄(月)	61.22(7.29)	58.67(5.98)	1.31	0.20
瑞文原始分数	17.61(7.18)	19.67(7.56)	-0.96	0.34
AQ	84.44(7.28)	55.33(4.39)	16.67	<0.01

特征的问卷. 它由5个维度组成, 包括社交技巧、注意转换、注意细节、交流及想象力. Auyeung等人^[34]的研究表明, 该量表具有很好的效度和信度, 界限分为76分, 量表灵敏度为95%, 特异度为95%. 本研究中所有ASD组的儿童自闭症谱系商(autism spectrum quotient, AQ)得分均高于76分, 所有TD组的儿童AQ得分均低于76分. 独立样本 t 检验表明, TD组儿童AQ得分显著低于ASD组(表1).

在特教学校和幼儿园中照顾这些儿童的幼儿教师被招募为儿童的社交同伴. 总计有15名教师作为被试参与本实验, 其中5人是ASD组儿童的教师, 10人是TD组儿童的教师. 所有儿童的父母签署了知情同意书, 允许儿童参与实验, 教师也同意参与实验. 父母及教师均接受视频录像并允许出于科研目的使用录像数据.

1.2 观测程序

每名儿童与各自熟悉的教师配对进行社会互动. 以往以学龄期儿童或成人自闭症为研究对象的人际同步研究多采用对话作为自然互动的观测程序. 但是根据儿童社交发展方面的文献^[35,36], 我们发现, 不同于年长个体的对话式互动, 学龄前儿童与成人的主要互动形式之一是有玩具的自由游戏. 虽然这些文献关注的主要是儿童与父母的自由游戏, 研究表明, 学龄前儿童与教师也会进行自由游戏^[37]. 因此, 本研究选择有玩具的自由游戏作为自然社会互动情境. 具体地, 教师与儿童面对面地坐在桌子的两端, 桌子上摆有适合双方共同参与互动的玩具, 包括乐高积木、厨房玩具和磁力机器人. 在熟悉环境后, 研究人员邀请教师与儿童共同游玩玩具并提示教师这个游戏过程没有预设的目标和标准, 只需要自由地和儿童一起游玩即可. 整个过程持续8 min左右. 在参与互动的儿童和教师的右前方20°附近的位置放置一个采样率为25帧/s的摄像机以记录被试上半身的运动. 摄像机距离被试1.5 m左右. 在每次

游戏开始前,主试进行击掌以便后续同步两个摄像机的视频。图1展示了记录教师和儿童行为的摄像机画面。

1.3 互动过程编码

在前期的文献调研中,我们发现,不同于成人间的对话互动,早期发展的个体与成人的互动过程中双方并不是一直维持双向的社交参与,典型的如母婴互动。在母婴互动中,有时母亲会表现出一种社交观察(social monitor)的状态,即关注婴儿的行为,但没有主动干扰婴儿的行为或是发起新的互动,而此时婴儿在关注周围的环境或物体^[38]。这是一种单向的社交参与状态。我们在预实验对儿童-教师互动的观察中发现的类似情况也出现在学龄前儿童与教师的互动中。更重要的是,本研究关注的主要群体是自闭症儿童,而自闭症儿童的社会互动是有缺陷的,他们很有可能经常无视社交同伴发起的互动请求,这同样也是一种单向的社交参与状态。需要指出的是,在对本研究采集的互动过程分析中我们发现,在能够观察到的单向社交参与状态中往往是教师表现出了社交参与而儿童没有。例如,几乎

没有发现儿童在观察教师的独自游戏,也极少发现教师对儿童的社交请求不予理睬。因此,本研究关注的单向社交参与主要指的是单向教师社交参与。双向社交参与同单向教师社交参与是不同的社交参与状态,人际同步在这两种状态下的意义也有差别。为了区分互动过程中的这两种状态,本研究采用行为编码的方法对不同的社交参与状态片段进行提取。基于文献^[39~41]和预实验中的观察,我们界定了双向社交参与状态下的双人行为模式:轮流式互动(turn-taking)和共同行动(joint action)。轮流行动的具体编码规则见表2。共同行动主要指的是双方出于共同的目标一起行动,共同行动过程中轮流互动的模式不明显,例如教师和儿童一起搭积木。在我们的数据中,典型儿童与教师互动中偶尔有共同行动发生,但自闭症儿童几乎没有与教师的共同行动。因此本研究不将共同行动纳入分析,后文中的双向社交参与状态仅包含轮流互动。如上文所述,本研究互动情境中所涉及的单向教师社交参与状态主要包括儿童独自玩玩玩具时教师对儿童的社交观察,以及儿童对教师互动发起行为的不予理睬。第一种

图1 (网络版彩色)互动场景设置。(a)记录教师行为的摄像机画面;(b)记录儿童行为的摄像机画面

Figure 1 (Color online) The setting of the scenario of social interactions. (a) The camera view of a teacher; (b) the camera view of a child

表2 社交参与状态和双人行为模式的编码

Table 2 Coding of social engagement states and dyadic behavior patterns

社交参与状态	双人行为模式	描述
双向社交参与	轮流式互动	一名被试发起社会互动,同伴以语言或动作对其进行回应。对回应行为的回应被视作轮流互动的一部分
单向教师社交参与	教师社交观察	教师维持对儿童或是儿童行为的注意。此过程有可能伴随有教师的言语,但这些言语并不是为了引起互动而是描述儿童的行为或是心理状态用以表达关注。此时,儿童参与到自己的活动中而没有表现出社交参与。如果教师要求儿童做的事情需要花费较长时间,并且在儿童开始执行行为后,教师只是在一旁观看,那么儿童作出回应的前5 s编码为“轮流式互动”,后续的过程编码为“教师社交观察”
	儿童未予回应	儿童没有对教师的社交发起行为予以回应。该编码主要反映儿童的回应性行为。如果儿童对教师的社交发起进行了回应但是犯了一些错误(例如教师要求儿童切某个水果,但儿童切了错误的水果),该事件仍然编码为“轮流式互动”

双人行为模式被编码为“教师社交观察”，第二种被编码为“儿童未予回应”。具体编码规则见表2。

编码工作基于整合的视频录像开展。每个整合的视频录像记录一对教师-儿童的互动并同时显示教师与儿童的视频。通过视频剪辑对齐教师与儿童视频的起始时间。编码人员首先以正常的速度播放录像，一旦发现了表2中的双人行为模式则慢速回退录像以确定行为发生的确切时间。接下来继续播放录像，如果发现该双人行为模式的结束，则同样慢速回退录像以确定行为结束的确切时间。发生时间与结束时间之间的录像为该行为模式的一个片段。在正式的研究开展前，我们采集了8对教师-儿童的游戏互动视频，其中3名儿童被确诊为自闭症，另外5名儿童为典型发展儿童。我们采用这8组互动视频训练两个编码人员，在编码过程中他们可以进行交叉检查。这8组视频没有纳入到正式研究的分析中。对于训练数据，两名编码人员的编码一致性通过Cohen's kappa进行评估。结果表明，两名编码人员间达到了较好的评分者一致性($\kappa=0.82$)。其中一名编码人员完成了正式研究的视频编码。

1.4 头部旋转角位移与角速度提取

本研究采用基于深度学习的头部姿态估计算法^[42]提取视频帧中人物头部在pitch、yaw和roll三个方向上的角度(图2)。该算法在人脸检测过程中会出现漏检和误检。对于误检的数据，通过输出每一帧人脸检测的结

图2 头部旋转yaw、pitch和roll方向的示意图

Figure 2 Illustration of the direction of yaw, pitch and roll of head rotation

果并进行人工筛查来剔除。误检和漏检会造成数据的缺失。为了尽可能弥补少量的连续缺失数据对后续数据分析的影响，采用插值法填充缺失数据。首先对每名教师和儿童的数据进行分段。如果连续缺失的数据多于12帧，则该连续缺失数据的前后被各自分为一段。对每段数据进行3次样条插值。分段的阈值选择12帧是因为在数据分析过程中发现，如果该阈值大于12帧，部分数据段的3次样条插值会失败。插值完成后，对于每一对参与互动的教师与儿童，保留互动双方数据均完整的帧。

接下来，根据双人行为模式编码对数据进行进一步的分段。连续的属于同一编码的帧划分为一段。分段完成后，将头部姿态的每一个方向的角度转换成对应方向的角位移和角速度指标。具体地，在每一段内计算头部姿态角度的均值，每帧的角位移为头部姿态角度减去该帧所属段的角速度均值。角速度为每一段内相邻帧的角位移的差值。为了去除数据中的高频噪音，对每一段角位移和角速度序列使用4 Hz的4阶Butterworth滤波器进行滤波。

1.5 同步与伪同步计算

根据Boker等人^[43]的研究，由于人际同步具有局部平稳性(local stationarity)，适宜采用滑窗互相关(windowed cross-correlation, WCC)的方法量化人际同步。该方法预先设定一个短时的时间窗口，该窗口内的变量被假定为平稳的。设两个包含 N 个观测的时间序列 $\mathbf{X}=\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$ 和 $\mathbf{Y}=\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_N\}$ ，同时设窗口尺寸 $\omega_{\max}$ 、时间迟延 τ 、时间迟延的最大值 $\tau_{\max}$ 以及窗口起始位置 i 。对于每一个 $i=\{\tau_{\max}+1, \tau_{\max}+2, \dots, N-\tau_{\max}-\omega_{\max}\}$ 以及 $\tau=\{-\tau_{\max}, -\tau_{\max}+1, \dots, \tau_{\max}\}$ ，窗口 $\mathbf{W}_x$ 和 $\mathbf{W}_y$ 内的数据如下：

$$\mathbf{W}_x = \begin{cases} \{x_i, x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_{i+\omega_{\max}}\}, & \tau \leq 0 \\ \{x_{i-\tau}, x_{i-\tau+1}, x_{i-\tau+2}, \dots, x_{i-\tau+\omega_{\max}}\}, & \tau > 0 \end{cases}, \quad (1)$$

$$\mathbf{W}_y = \begin{cases} \{y_{i+\tau}, y_{i+\tau+1}, y_{i+\tau+2}, \dots, y_{i+\tau+\omega_{\max}}\}, & \tau \leq 0 \\ \{y_i, y_{i+1}, y_{i+2}, \dots, y_{i+\omega_{\max}}\}, & \tau > 0 \end{cases}. \quad (2)$$

$\mathbf{W}_x$ 和 $\mathbf{W}_y$ 的互相关为

$$r(\mathbf{W}_x, \mathbf{W}_y) = \frac{1}{\omega_{\max}} \sum_{j=1}^{\omega_{\max}} \frac{(\mathbf{W}_{xj} - \mu(\mathbf{W}_x))(\mathbf{W}_{yj} - \mu(\mathbf{W}_y))}{sd(\mathbf{W}_x)sd(\mathbf{W}_y)}. \quad (3)$$

设定窗口起始位置和时间迟延的增长步长为 ω_{inc}

和 τ_{inc} . 对于时刻 i , 按照 τ_{inc} 遍历所有的 τ 并计算对应的互相关. 接下来, 以 ω_{inc} 的步长滑动窗口, 并再次遍历 τ 计算互相关, 直至窗口到达数据的末端.

WCC的相关参数需要预先设置. 由于有意义的头部运动一般在2 s内发生^[43], 本研究将 ω_{max} 设置为50帧(2 s). τ_{max} 的选择取决于研究对象以及行为关联可能发生的时间范围. 同以往头部旋转同步研究^[43]一致, 本研究将 τ_{max} 设置为50帧(2 s). 越小的步长越不易丢失信息, 但过小的步长会浪费计算. Boker等人^[43]将步长设置为0.08 s, 与此接近, 本研究将 ω_{inc} 和 τ_{inc} 设置为2帧(1 s).

对于1.4节介绍的3个方向的头部旋转角位移和角速度分段序列, 在每一个分段内分别应用WCC进行同步性计算. 为了获得某对被试在某个参与状态下的同步值, 将相关系数转换成Fisher Z分数, 并将每对被试属于同一参与状态的Z分数绝对值的均值作为该对被试在相应参与状态下的同步程度.

由于人类运动的自相似性会增加标准虚无假设检验方法错误识别显著同步的概率^[44,45], 本研究采用替代数据分析法(surrogate data analysis)检验观测到的同步值是否意味着同步的出现^[46]. 首先, 每个时间序列按2 s的长度进行分段. 对于每一对互动的被试, 将其中一人的数据段进行随机排列, 而后使每一个数据段与同伴的随机数据段时间对齐, 并保证这两段数据在真实的互动中并不是对齐的. 这一数据处理过程保留了2 s内的个体真实头部运动的时间结构, 同时打破了个体间的时间关联性. 对于每一对被试的真实数据, 采用上述方法生成100个替代数据. 对替代数据集使用同真实数据集相同的方式计算同步作为伪同步. 为了后续检验观测同步是否高于随机同步, 本研究参考的方法^[47], 基于替代数据集的同步值计算了个体水平的同步效应量(effect size, ES)和组水平的同步效应量(Cohen's d). 对于社交参与状态 e 下的第 i 对被试, $ES_{i,e}=(z_{obz_{i,e}}-\mu(Z_{pse_{i,e}}))/sd(Z_{pse_{i,e}})$, 其中 $z_{obz_{i,e}}$ 是观测到的同步值, $\mu(Z_{pse_{i,e}})$ 是对应替代数据集的同步均值, $sd(Z_{pse_{i,e}})$ 是对应替代数据集的同步值标准差. 部分研究采用组ES的均值作为组的效应量来估计群组水平下同步是否出现^[22,45], 但Tschacher和Meier^[47]指出, 组ES的均值不等于组的Cohen's d . 对于社交参与状态 e 下组 g 的Cohen's d , $d_{g,e}=(\mu(Z_{obz_{g,e}})-\mu(Z_{pse_{g,e}}))/sd(Z_{pse_{g,e}})$, 其中 $\mu(Z_{obz_{g,e}})$ 是社交参与状态 e 下组 g 的同步均值, $\mu(Z_{pse_{g,e}})$ 和 $sd(Z_{pse_{g,e}})$ 是对应的替代数据集中所有同步值的均值和标准差. 本研究中, ES代表了一对被试的同步值偏离

该对被试替代数据集同步均值的程度, Cohen's d 则代表了一组被试的平均同步整体偏离这组被试替代数据集同步均值的程度.

1.6 统计分析

首先, 对ASD组和TD组社会互动过程中不同社交参与状态及双人行为模式的时间占比进行比较. 对每一对被试, 该比例通过每种状态和行为模式出现的时间除以该对被试互动的整体时间进行计算. 由于教师社交观察和儿童未予回应的比例不符合正态分布(Shapiro-Wilk test: $P<0.01$), 组间比较采用Mann-Whitney U 检验. 以下分析同时考察双向社交参与和单向教师社交参与状态下的同步特点. 虽然互动中的单向参与状态很少被研究, 但单向参与状态下的同步结果一方面可以增加对运动人际同步本身的理解, 另一方面也可能与自闭症的社交缺陷存在一定的关系. 具体地, 首先为判断同步是否确实发生, 除考虑基于替代数据集的Cohen's d 外, 还采用单样本 t 检验判断每个诊断组在每种社交参与状态下的ES样本均值是否大于0. 为检验同步是否存在组间差异, 以诊断组(ASD, TD)作为被试间变量, 社交参与状态(双向社交参与、单向教师社交参与)作为被试内变量对头部旋转角位移同步和角速度同步分别进行MANOVA(doubly-multivariate repeated measures design). 头部旋转运动同步的组间差异可能由不同组儿童之间头部旋转运动的程度不同所引起. 为了检验是否有这种可能性, 对儿童头部旋转运动程度的组间差异进行检验. 本文采用头部旋转角位移和角速度的均方根 $RMS = \sqrt{\frac{1}{n}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}$ 来度量头部旋转的运动程度. 使用2(诊断组: ASD vs. TD) $\times$ 2(社交参与状态: 双向社交参与、单向成人社交参与)混合设计的ANOVA检验RMS的组间差异. 最后, 采用皮尔逊相关分析探索ASD组在双向社交参与状态下头部旋转运动同步值与自闭特征中的社交技能、注意转换和注意细节的关系. 为了考察头部旋转运动同步与自闭特征的关系是否也存在于社交能力完整的群体中, 在TD组也进行了同样的相关分析.

2 结果

2.1 编码结果与数据质量

对每一对教师-儿童互动中每种双人行为模式的帧

数进行平均得到各行为模式的平均帧数,对每种双人行为模式下的每个片段的帧数进行平均得到各行为模式的平均片段帧数,结果见表3. 每种双人行为模式下,平均有效帧数以及有效帧比例见表3.

2.2 双人行为模式、社交参与状态时间比例的组间差异

对轮流式互动、教师社交观察和儿童未予回应3种双人行为模式的时间占比进行Mann-Whitney U 检验. ASD和TD组在轮流式互动的的时间占比是接近的(ASD: 0.44 ± 0.18 ; TD: 0.46 ± 0.17 ; $U=274$, $P=0.97$, $Z=-0.04$, $r=-0.006$); 相比于TD组, ASD组的教师社交观察时间占比更低(ASD: 0.12 ± 0.12 ; TD: 0.34 ± 0.18 ; $U=96$, $P<0.01$, $Z=-3.84$, $r=-0.56$), 而儿童未予回应时间占比更高(ASD: 0.16 ± 0.17 ; TD: 0.02 ± 0.03 ; $U=415$, $P<0.01$, $Z=-3.15$, $r=-0.46$). 此外, 将教师社交观察和儿童未予回应的的时间进行了合并, 合并后的时间占比为单向教师社交参与状态的时间占比并对其进行Mann-Whitney U 检验. 结果显示, 在单向教师社交参与的时间占比上没有显著差异(ASD: 0.28 ± 0.14 ; TD: 0.36 ± 0.18 ; $U=214$, $P=0.19$, $Z=-1.32$, $r=-0.19$).

2.3 头部旋转运动人际同步与伪同步的比较及组间差异

个体水平的ES、 t 值和基于替代数据集的Cohen's d 见表4. Cohen's d 的结果表明, 除了TD组单向教师社交参与状态下pitch方向的角速度同步表现出中等的效应外($0.5<\text{Cohen's } d<0.8$), 其余条件下的头部旋转运动同步均表现出高的效应(Cohen's $d>0.8$). 所有的ES样本均值均显著大于0. 以上结果说明, ASD组和TD组在双向社交参与和单向教师社交参与状态下的头部旋转运动同步是显著高于随机水平的.

头部旋转运动人际同步的MANOVA表明, 角位移方面, yaw方向上诊断组主效应显著($F(1,45)=13.65$, $P<0.01$, $\eta^2=0.23$), ASD组的同步低于TD组(ASD: 0.519 ± 0.039 ; TD: 0.574 ± 0.059), 社交参与状态主效应显著($F(1,45)=9.83$, $P<0.01$, $\eta^2=0.18$), 双向社交参与同步高于单向教师社交参与(双向: 0.562 ± 0.069 ; 单向: 0.531 ± 0.066), 社交参与状态与诊断组的交互作用显著($F(1,45)=11.87$, $P<0.01$, $\eta^2=0.20$). 简单效应分析表明, 单向教师社交参与状态下, ASD与TD组同步差异不显著($F(1,45)=1.27$, $P=0.27$, $\eta^2=0.03$); 双向社交参与状态下, ASD组的同步低于TD组($F(1,45)=30.40$, $P<0.01$,

表3 平均帧数、平均片段帧数、平均有效帧数和有效帧比例

Table 3 The average amount of frames, frames of episodes, valid frames and the proportion of valid frames

	双向社交参与				单向教师社交参与							
	轮流式互动				教师社交观察				儿童未予回应			
	帧数	片段帧数	有效帧数	有效比例	帧数	片段帧数	有效帧数	有效比例	帧数	片段帧数	有效帧数	有效比例
ASD	4118	937	3613	86%	1209	793	1118	86%	1615	862	1318	85%
TD	5230	773	4186	82%	3763	582	3063	81%	189	616	192	84%

表4 ES(M $\pm$ SD)、 t 值及Cohen's d ^{a)}

Table 4 ES (M $\pm$ SD), t value and Cohen's d

		ASD							TD						
		双向社交参与				单向教师社交参与			双向社交参与				单向教师社交参与		
		ES	t	Cohen's d	ES	t	Cohen's d		ES	t	Cohen's d	ES	t	Cohen's d	
角位移	Yaw	4.18 $\pm$ 2.64	7.58	1.51	3.38 $\pm$ 2.30	7.06	1.47		8.96 $\pm$ 3.17	13.84	3.47	3.47 $\pm$ 3.93	4.33	1.14	
	Pitch	4.11 $\pm$ 2.67	7.39	1.84	2.11 $\pm$ 2.27	4.46	1.02		5.31 $\pm$ 3.02	8.61	2.37	1.75 $\pm$ 2.47	3.47	0.74	
	Roll	4.65 $\pm$ 2.51	8.89	1.65	6.01 $\pm$ 4.28	6.73	1.52		9.17 $\pm$ 3.91	11.48	3.90	5.64 $\pm$ 4.74	5.84	2.47	
角速度	Yaw	4.00 $\pm$ 2.38	8.05	1.24	2.84 $\pm$ 1.06	12.80	1.30		4.23 $\pm$ 2.26	9.18	0.83	2.97 $\pm$ 2.43	6.00	1.02	
	Pitch	4.63 $\pm$ 1.68	13.22	2.77	2.57 $\pm$ 1.58	7.79	1.49		3.39 $\pm$ 2.45	6.76	1.37	2.63 $\pm$ 1.57	8.24	1.16	
	Roll	3.56 $\pm$ 1.89	9.02	1.71	2.56 $\pm$ 1.59	7.73	1.28		3.96 $\pm$ 2.17	8.94	1.12	2.61 $\pm$ 2.10	6.11	0.85	

a) 单样本 t 检验自由度ASD组: $df=22$; TD组: $df=23$; 所有的 t 检验 P 值均小于0.01

$\eta^2=0.40$; ASD: 0.518 ± 0.039 ; TD: 0.605 ± 0.065). 在pitch方向上, 社交参与状态主效应显著($F(1,45)=9.31$, $P<0.01$, $\eta^2=0.17$), 双向社交参与同步高于单向教师社交参与(双向: 0.490 ± 0.036 ; 单向: 0.469 ± 0.046), 诊断组主效应不显著($F(1,45)=0.32$, $P=0.58$, $\eta^2=0.01$), 社交参与与状态与诊断组的交互作用不显著($F(1,45)=1.63$, $P=0.21$, $\eta^2=0.04$). 在roll方向上, 诊断组主效应显著($F(1,45)=26.46$, $P<0.01$, $\eta^2=0.37$), ASD组的同步低于TD组(ASD: 0.519 ± 0.053 ; TD: 0.596 ± 0.049), 社交参与与状态主效应不显著($F(1,45)=0.07$, $P=0.79$, $\eta^2=0.002$), 社交参与与状态与诊断组的交互作用不显著($F(1,45)=1.93$, $P=0.17$, $\eta^2=0.04$).

角速度方面, 在yaw方向上, 诊断组主效应显著($F(1,45)=31.07$, $P<0.01$, $\eta^2=0.41$), ASD组的同步低于TD组(ASD: 0.215 ± 0.008 ; TD: 0.233 ± 0.013), 社交参与与状态主效应显著($F(1,45)=14.77$, $P<0.01$, $\eta^2=0.25$), 双向社交参与同步高于单向教师社交参与(双向: 0.227 ± 0.019 ; 单向: 0.220 ± 0.011), 社交参与与状态与诊断组的交互作用显著($F(1,45)=19.45$, $P<0.01$, $\eta^2=0.30$). 简单效应分析表明, 单向教师社交参与状态下, ASD组的同步

低于TD组($F(1,45)=8.11$, $P<0.01$, $\eta^2=0.15$; ASD: 0.216 ± 0.010 ; TD: 0.225 ± 0.012); 双向社交参与状态下, ASD组的同步低于TD组($F(1,45)=40.32$, $P<0.01$, $\eta^2=0.47$; ASD: 0.215 ± 0.009 ; TD: 0.241 ± 0.018). Pitch方向上, 诊断组主效应($F(1,45)=0.52$, $P=0.47$, $\eta^2=0.01$)、社交参与与状态主效应($F(1,45)=3.10$, $P=0.09$, $\eta^2=0.06$)及社交参与与状态同诊断组的交互作用($F(1,45)=0.52$, $P=0.47$, $\eta^2=0.01$)均不显著. 在roll方向上, 诊断组主效应显著($F(1,45)=38.85$, $P<0.01$, $\eta^2=0.46$), ASD组的同步低于TD组(ASD: 0.213 ± 0.007 ; TD: 0.230 ± 0.010), 社交参与与状态同诊断组的交互作用显著($F(1,45)=5.64$, $P<0.05$, $\eta^2=0.11$). 简单效应分析表明, 单向教师社交参与状态下, ASD组的同步低于TD组($F(1,45)=10.55$, $P<0.01$, $\eta^2=0.19$; ASD: 0.214 ± 0.009 ; TD: 0.226 ± 0.015); 双向社交参与与状态下, ASD组的同步低于TD组($F(1,45)=48.72$, $P<0.01$, $\eta^2=0.52$; ASD: 0.213 ± 0.007 ; TD: 0.234 ± 0.013); 社交参与与状态主效应不显著($F(1,45)=2.92$, $P<0.10$, $\eta^2=0.06$). 不同社交参与与状态下, ASD组和TD组头部旋转运动人际同步的组间比较见图3.

以上结果表明, 自闭症儿童在与教师的互动中头

图3 两诊断组被试在不同社交参与状态下的头部旋转角位移和角速度同步. 单向: 单向教师社交参与; 双向: 双向社交参与. 柱状图根据组均值(+标准误)绘制. * $P<0.05$

Figure 3 Interpersonal synchrony of head angular displacement and velocity across diagnostic groups and social engagement states. One-way: One-way teacher social engagement; two-way: Two-way social engagement. The histogram was depicted by group means (+SEM). * $P<0.05$

部旋转运动和教师是同步的。但是相比于典型发展儿童,自闭症儿童与教师的头部旋转运动人际同步普遍更低,主要体现在yaw和roll两个方向上。

2.4 儿童头部旋转运动的组间差异

ANOVA仅在头部旋转角位移RMS上出现了显著的效应。Yaw方向上,社交参与状态的主效应显著($F(1,45)=4.06, P<0.05, \eta^2=0.08$),儿童在双向社交参与状态下的RMS高于单向教师社交参与(双向: 13.45 ± 3.73 ; 单向: 12.49 ± 3.90),社交参与状态同诊断组的交互作用显著($F(1,45)=4.61, P<0.05, \eta^2=0.09$)。但简单效应分析表明,在两种社交参与状态下,ASD组与TD组的差异均不显著(双向: $F(1,45)=0.09, P=0.76, \eta^2=0.002$, 单向: $F(1,45)=2.18, P=0.147, \eta^2=0.05$); 诊断组主效应不显著($F(1,45)=0.43, P=0.52, \eta^2=0.01$)。Pitch方向上,社交参与状态的主效应显著($F(1,45)=4.27, P<0.05, \eta^2=0.09$),儿童在双向社交参与状态下的RMS高于单向教师社交参与(双向: 7.76 ± 1.74 ; 单向: 7.27 ± 1.97),诊断组主效应($F(1,45)=0.67, P=0.42, \eta^2=0.02$)及社交参与状态同诊断组的交互作用均不显著($F(1,45)=0.21, P=0.65, \eta^2=0.01$)。Roll方向上,诊断组主效应($F(1,45)=3.13, P=0.08, \eta^2=0.07$)、社交参与状态主效应($F(1,45)=2.94, P=0.09, \eta^2=0.06$)及社交参与状态同诊断组的交互作用($F(1,45)=0.61, P=0.44, \eta^2=0.01$)均不显著。

以上结果表明,双向社交参与状态下儿童头部旋转运动的程度高于单向教师社交参与状态,主要体现在yaw和pitch两个方向上。但是自闭症儿童与典型发展儿童在头部旋转运动的程度上没有显著差异。

2.5 头部旋转运动同步与自闭特征的关联

分别对ASD组和TD组进行头部旋转运动同步值与AQ量表社交技巧、注意转换和注意细节分量表得分的皮尔逊相关分析,结果见表5。相关分析发现,ASD组和TD组yaw方向的头部旋转角位移人际同步均与注意转换分量表得分显著负相关(ASD: $r=-0.43, P<0.05$; TD: $r=-0.51, P<0.05$)。

3 讨论

本研究发现,相比于典型发展儿童,自闭症儿童在与教师的游戏互动中更频繁地忽视教师的社交发起行为。在互动过程中,虽然自闭症儿童的头部旋转运动与教师是同步的,但是同典型发展儿童相比,自闭症儿童与教师的头部旋转运动人际同步是更低的,主要体现在yaw和roll两个方向上。头部旋转运动人际同步与自闭特征中的社交技巧维度没有显著相关,但yaw方向角位移的同步与注意转换有显著负相关,并且这种关系既存在于自闭症儿童组中也存在于典型发展儿童组中。

互动过程中儿童未予回应ASD组的时间占比显著高于TD组。对于TD组儿童,他们很少对教师的社交发起行为无动于衷。但对于ASD组儿童来说,这种情况并不罕见。DSM-5中,“不对社会互动进行反应”是社交-情绪相互性(social-emotional reciprocity)缺陷的表现之一,属于自闭症的核心症状。ASD组在儿童未予回应事件上的结果表明,自闭症儿童在自然的互动中表现出了这一核心症状。然而,我们发现,虽然ASD组出现了更高比例的儿童未予回应,两组在轮流互动上的时间占比却没有显著差异。造成这一结果的原因有两

表5 头部旋转运动人际同步与自闭特征的相关性^{a)}

Table 5 Correlations between interpersonal synchrony of head rotation and autistic traits

		ASD						TD					
		社交技巧		注意转换		注意细节		社交技巧		注意转换		注意细节	
		<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
角位移	Yaw	-0.16	0.46	-0.43*	0.04	-0.15	0.50	0.12	0.57	-0.51*	0.01	-0.003	0.99
	Pitch	-0.11	0.61	-0.001	0.99	0.11	0.62	0.07	0.74	-0.30	0.15	0.02	0.91
	Roll	-0.21	0.34	-0.32	0.13	-0.25	0.25	0.22	0.30	-0.40	0.05	-0.01	0.98
角速度	Yaw	0.03	0.90	-0.14	0.52	0.18	0.42	0.06	0.78	-0.33	0.12	-0.25	0.23
	Pitch	-0.02	0.91	-0.19	0.39	-0.07	0.76	0.18	0.20	-0.09	0.68	-0.02	0.92
	Roll	-0.10	0.64	-0.08	0.72	-0.13	0.57	0.25	0.23	-0.30	0.15	-0.13	0.54

a) * $P<0.05$

个方面。(1) 自闭症是谱系障碍, 自闭症儿童社交缺陷的程度和表现存在差异。Wing^[2]发现, 自闭症个体的社会互动缺陷有多种形式, 缺陷最严重的个体对他人冷漠和不感兴趣, 但除此之外, 其他的自闭症个体能够被动, 甚至是主动地参与到互动中。本研究招募的自闭症儿童在一定程度上能够参与到互动中, 这是ASD组轮流互动时间比例接近TD组的原因之一, 结合在儿童未予回应事件上的结果, 说明某些自闭症儿童在社会互动中的社交反应性是动态变化的, 他们有时能够参与到互动中, 有时则对教师的社交请求不予理睬。(2) 造成两组轮流互动时间比例接近的另一原因是, ASD组教师社交观察的时间比例更低, 反映了教师的行为模式受到了自闭症儿童的影响。由于吸引自闭症儿童参与到互动中的尝试经常是失败的, 教师可能会采取一种更具指导性的方式来与儿童互动以增加儿童参与的机会, 进而减少了诸如观察或表达关注此类非指导性的行为。

在同步与伪同步的比较中, 无论是在双向社交参与还是单向教师社交参与状态下, 两组被试各个方向的头部旋转运动人际同步值均显著高于随机水平。以往研究已经发现, 双向互动中, 互动双方的整体身体运动是显著同步的^[5], 即使互动参与者中包含自闭症个体^[22,24]。本研究中双向社交参与状态下的结果将类似结论推广到了头部旋转运动的人际同步。此外, 在单向参与状态下, 也发现了头部旋转运动人际同步的出现。Hasson和Frith^[48]在理论上分析了单向互动的系统中同步是可能发生的。这种同步也被Burgess^[49]称为驱动同步(driven synchronization)。本研究中单向教师社交参与状态下的结果表明, 头部旋转运动的驱动同步在自然场景下的教师-儿童互动中是确实存在的。在本研究的观测情境中, 驱动同步可能反映了教师对儿童行为的“跟随”, 例如在教师社交观察中, 教师会关注儿童的注意目标, 可能导致头部旋转运动同步的产生。此外, 感知他人的运动节律会无意识地影响个体自身的运动节律^[50]。在教师单向参与状态中, 教师对儿童的视觉注意可能会使教师的头部运动节律受到儿童头部运动影响, 进而导致了头部旋转运动的同步。

虽然自闭症儿童与社交同伴在互动中的头部旋转运动是同步的。但是与典型发展儿童的比较揭示出他们在同步程度上的降低。这种降低主要集中在yaw和roll两个方向上, 并且既出现在双向社交参与状态中, 也出现在单向教师社交参与状态中。ASD和TD组在pitch方向上的同步差异不显著与互动场景的设置有关。

由于本研究的互动主要发生在同一水平面上, 互动过程中少有儿童或教师将玩具举高, 因此pitch方向同步携带的社交信息是相对有限的, 进而不能区分不同的诊断组别。关于单向教师社交参与状态下的结果, 可能的原因之一是由于ASD组的单向教师社交参与状态中包含了更多的儿童未予回应。虽然同为单向教师社交参与状态, 教师在儿童未予回应和教师社交观察两种事件中跟随儿童注意和受儿童行为影响的程度可能是不同的。遗憾的是, 由于本研究采集的数据量有限, 一些自闭症儿童与教师的互动中仅出现较短时间的儿童未予回应或教师社交观察, 比较这两种条件下的同步容易产生不可靠的结果。因此, ASD组在单向教师社交参与状态下人际同步降低的原因有待进一步的考察。更重要的结果是, 在双向社交参与状态下, ASD组的同步旋转运动同步显著低于TD组。而且, 由于ASD组和TD组儿童在头部旋转运动的程度上不存在差异, ASD组头部旋转运动人际同步的降低更可能反映的是一种人际问题而非个体运动问题。我们在头部旋转运动人际同步上发现的结果同头部空间位移运动人际同步的结果是一致的^[21], 这一结果补充了自闭症儿童头部运动人际同步缺陷所涉及的运动形式。

考虑到社会互动中的运动人际同步与亲密感^[7,11]、人际关系^[51]的正向关联及其与自闭症社会认知能力间的负向关联^[19], 本研究假设自闭症儿童在双向社交参与中的头部旋转运动的人际同步会与自闭特征中的社交技能维度负相关。但相关性分析并没有支持这一假设。需要指出的是, 头部旋转运动不能完整地代表头部运动, 如前文所述, 头部运动的另一个方面是空间上的位置变化。因此头部旋转运动同步没有表现出与社交技能的关联, 并不意味着头部运动同步与社交技能无关。与假设一致的是, 头部旋转运动同步与自闭特征的注意方面有关, 表现出越低水平同步的自闭症儿童在注意转换上表现出越典型的自闭特征。并且我们发现, 这种相关仅出现在yaw方向上。同样的结果也出现在TD组中, 表明头部旋转运动同步与注意转换的关系可能是广泛存在于不同社交能力的群体中。基于这一结果, 同时考虑到本研究的互动主要发生在同一水平面上, 可以推测, yaw方向的头部旋转在很大程度上反映了注意目标的改变, 进而有理由认为, 该同步部分地反映了互动双方注意的协调。因此自闭症儿童互动中yaw方向头部旋转运动同步的降低一定程度上意味着他们在互动中不能很好地注意社交同伴的注意目

标。一方面是他们社交兴趣不足、共同注意能力欠缺的结果, 另一方面缺乏对他人注意目标的关注也会影响他们对社交同伴的理解。另外, 缺乏对社交同伴注意目标的关注也可能是一些自闭症儿童的社交行为被同伴感觉是怪异的和单方面的原因之一。自闭症儿童在结构化任务中的肢体运动人际同步同样与注意问题有关^[17]。但与头部旋转运动同步和注意间的直接关联不同, 这种关系可能反映的是注意问题的间接结果, 例如由于缺乏对同伴的注意导致运动同步的降低。

虽然本研究探索了头部旋转运动同步与自闭特征的关联, 但没有同时考察头部空间位移运动同步与哪些自闭特征有关, 且目前缺乏相关研究。因此, 尚不清楚头部运动同步的这两方面是否与自闭特征间有不同的关系。未来有必要进一步探索头部运动同步是整体上与社交技能无关, 还是仅仅头部旋转运动同步与社交技能无关, 以及头部运动同步与注意转换的关系是否仅仅表现在头部旋转运动同步上。

4 结论

本研究发现, 自闭症儿童与社交同伴在社会互动

中的头部旋转运动是同步的, 但是其同步程度相比典型发展儿童是降低的。这种降低主要体现在yaw和roll两个方向上, 表明了这两个方向的头部旋转运动相对于pitch方向提供了更多的社交信息。结合已有研究, 可以得知自闭症个体头部运动同步的缺陷是整体性的, 既出现在头部平移运动中, 也出现在头部旋转运动中。本研究也发现, 在yaw方向的头部旋转运动上表现出更低水平人际同步的儿童在注意转换上有更典型的自闭特征。与身体运动同步同自闭症个体社会认知能力、注意问题等方面更广泛的关联不同, 头部旋转运动人际同步除与注意方面有关联外, 与社交技能并无相关。结合以上发现, 本研究进一步推断, 自闭症儿童在互动中更少地表现出协调的注意即更少地注意同伴的注意目标, 这阻碍了自闭症儿童与同伴间正常的社交。综上, 自闭症儿童头部旋转运动的人际同步从注意的角度揭示了自闭症儿童在自然社会互动中异常的社交行为特点。不同于在实验室条件下的研究, 本研究采用头部旋转运动同步量化了真实社交情境中的社交行为特点, 具有较好的生态效度, 提供了理解自闭症注意问题和社交缺陷的新途径。

参考文献

- 1 American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 5th ed. Arlington: American Psychiatric Association, 2013
- 2 Wing L. The continuum of autistic characteristics. In: Schopler E, Mesibov G B, eds. Diagnosis and Assessment in Autism. Berlin: Springer, 1988. 92–110
- 3 McNaughton K A, Redcay E. Interpersonal synchrony in autism. *Curr Psychiatry Rep*, 2020, 22: 1
- 4 Bernieri F J, Rosenthal R. Interpersonal coordination: Behavior matching and interactional synchrony. In: Feldman R S, Bernard R, eds. Fundamentals of Nonverbal Behavior. New York: Cambridge University Press, 1991. 401–432
- 5 Tschacher W, Rees G M, Ramseyer F. Nonverbal synchrony and affect in dyadic interactions. *Front Psychol*, 2014, 5: 1323
- 6 Lakens D, Schubert T, Paladino M P. Social antecedents and consequences of behavioral synchrony. In: Obhi S S, Cross E S, eds. Shared Representations. Cambridge: Cambridge University Press, 2016. 254–279
- 7 Chartrand T L, Bargh J A. The chameleon effect: The perception-behavior link and social interaction. *J Pers Soc Psychol*, 1999, 76: 893–910
- 8 Fitzpatrick P, Diorio R, Richardson M J, et al. Dynamical methods for evaluating the time-dependent unfolding of social coordination in children with autism. *Front Integr Neurosci*, 2013, 7: 00021
- 9 Gallagher S, Hutto D. Understanding others through primary interaction and narrative practice. In: Zlatev J, Racine T P, Sinha C, eds. The Shared Mind: Perspectives on Intersubjectivity. Amsterdam: John Benjamins Publishing, 2008. 17–38
- 10 Stern D. The Interpersonal World of the Infant. New York: Basic Books, 1985. 135–136
- 11 Lakens D. Movement synchrony and perceived entitativity. *J Exp Soc Psychol*, 2010, 46: 701–708
- 12 Hove M J, Risen J L. It's all in the timing: Interpersonal synchrony increases affiliation. *Soc Cogn*, 2009, 27: 949–960
- 13 Bernieri F J, Davis J M, Rosenthal R, et al. Interactional synchrony and rapport: Measuring synchrony in displays devoid of sound and facial affect. *Pers Soc Psychol Bull*, 1994, 20: 303–311
- 14 Wiltermuth S S, Heath C. Synchrony and cooperation. *Psychol Sci*, 2009, 20: 1–5
- 15 Marsh K L, Isenhower R W, Richardson M J, et al. Autism and social disconnection in interpersonal rocking. *Front Integr Neurosci*, 2013, 7: 00004
- 16 Fitzpatrick P, Frazier J A, Cochran D M, et al. Impairments of social motor synchrony evident in autism spectrum disorder. *Front Psychol*, 2016, 7:

01323

- 17 Fitzpatrick P, Romero V, Amaral J L, et al. Evaluating the importance of social motor synchronization and motor skill for understanding autism. *Autism Res*, 2017, 10: 1687–1699
- 18 Fulceri F, Tonacci A, Lucaferro A, et al. Interpersonal motor coordination during joint actions in children with and without autism spectrum disorder: The role of motor information. *Res Dev Disabil*, 2018, 80: 13–23
- 19 Fitzpatrick P, Romero V, Amaral J L, et al. Social motor synchronization: Insights for understanding social behavior in autism. *J Autism Dev Disord*, 2017, 47: 2092–2107
- 20 Fitzpatrick P, Frazier J A, Cochran D, et al. Relationship between theory of mind, emotion recognition, and social synchrony in adolescents with and without Autism. *Front Psychol*, 2018, 9: 1337
- 21 Noel J P, De Niear M A, Lazzara N S, et al. Uncoupling between multisensory temporal function and nonverbal turn-taking in autism spectrum disorder. *IEEE Trans Cogn Dev Syst*, 2018, 10: 973–982
- 22 Georgescu A L, Koeroglu S, Hamilton A F de C, et al. Reduced nonverbal interpersonal synchrony in autism spectrum disorder independent of partner diagnosis: A motion energy study. *Mol Autism*, 2002, 11: 11
- 23 Zampella C J, Csumitta K D, Simon E, et al. Interactional synchrony and its association with social and communication ability in children with and without autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*, 2020, 50: 3195–3206
- 24 Romero V, Fitzpatrick P, Roulier S, et al. Evidence of embodied social competence during conversation in high functioning children with autism spectrum disorder. *PLoS One*, 2018, 13: e0193906
- 25 Ramseyer F, Tschacher W. Nonverbal synchrony of head- and body-movement in psychotherapy: Different signals have different associations with outcome. *Front Psychol*, 2014, 5: 979
- 26 Hietanen J K. Social attention orienting integrates visual information from head and body orientation. *Psychol Res Psychol Forsch*, 2002, 66: 174–179
- 27 Duncan S. Some signals and rules for taking speaking turns in conversations. *J Pers Soc Psychol*, 1972, 23: 283–292
- 28 Munhall K G, Jones J A, Callan D E, et al. Visual prosody and speech intelligibility. *Psychol Sci*, 2004, 15: 133–137
- 29 Kupper Z, Ramseyer F, Hoffmann H, et al. Nonverbal synchrony in social interactions of patients with schizophrenia indicates socio-communicative deficits. *PLoS One*, 2015, 10: e0145882
- 30 Hammal Z, Cohn J F, George D T. Interpersonal coordination of head motion in distressed couples. *IEEE Trans Affect Comput*, 2014, 5: 155–167
- 31 Hammal Z, Cohn J F, Messinger D S. Head movement dynamics during play and perturbed mother-infant interaction. *IEEE Trans Affect Comput*, 2015, 6: 361–370
- 32 Driscoll K C, Pianta R C. Banking time in head start: Early efficacy of an intervention designed to promote supportive teacher-child relationships. *Early Educ Dev*, 2010, 21: 38–64
- 33 Howes C, Burchinal M, Pianta R, et al. Ready to learn? Children's pre-academic achievement in pre-Kindergarten programs. *Early Childhood Res Q*, 2008, 23: 27–50
- 34 Auyeung B, Baron-Cohen S, Wheelwright S, et al. The Autism Spectrum Quotient: Children's Version (AQ-Child). *J Autism Dev Disord*, 2008, 38: 1230–1240
- 35 Feldman R. Parenting behavior as the environment where children grow. In: Mayes L, Lewis M, eds. *The Cambridge Handbook of Environment in Human Development*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 535–567
- 36 Feldman R, Bamberger E, Kanat-Maymon Y. Parent-specific reciprocity from infancy to adolescence shapes children's social competence and dialogical skills. *Attach Hum Dev*, 2013, 15: 407–423
- 37 Tsai C Y. Am I interfering? Preschool teacher participation in children play. *Univers J Educ Res*, 2015, 3: 1028–1033
- 38 Tronick E Z, Messinger D S, Weinberg M K, et al. Cocaine exposure is associated with subtle compromises of infants' and mothers' social-emotional behavior and dyadic features of their interaction in the face-to-face still-face paradigm. *Dev Psychol*, 2005, 41: 711–722
- 39 Mahoney G, Wheeden C A. The effect of teacher style on interactive engagement of preschool-aged children with special learning needs. *Early Childhood Res Q*, 1999, 14: 51–68
- 40 Seibert J M, Hogan A E, Mundy P C. Assessing interactional competencies: The early social-communication scales. *Infant Ment Health J*, 1982, 3: 244–258
- 41 Sebanz N, Bekkering H, Knoblich G. Joint action: Bodies and minds moving together. *Trends Cogn Sci*, 2006, 10: 70–76
- 42 Yang T Y, Chen Y T, Lin Y Y, et al. FSA-Net: Learning fine-grained structure aggregation for head pose estimation from a single image. In: 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). New York: IEEE, 2019. 1087–1096
- 43 Boker S M, Rotondo J L, Xu M, et al. Windowed cross-correlation and peak picking for the analysis of variability in the association between behavioral time series. *Psychol Methods*, 2002, 7: 338
- 44 Moulder R G, Boker S M, Ramseyer F, et al. Determining synchrony between behavioral time series: An application of surrogate data generation

- for establishing falsifiable null-hypotheses. *Psychol Methods*, 2018, 23: 757–773
- 45 Ashenfelter K T, Boker S M, Waddell J R, et al. Spatiotemporal symmetry and multifractal structure of head movements during dyadic conversation. *J Exp Psychol-Hum Percept Perform*, 2009, 35: 1072–1091
- 46 Ramseyer F, Tschacher W. Nonverbal synchrony or random coincidence? How to tell the difference. In: Esposito A, Campbell N, Vogel C, et al., eds. *Development of Multimodal Interfaces: Active Listening and Synchrony*. Berlin: Springer, 2010. 182–196
- 47 Tschacher W, Meier D. Physiological synchrony in psychotherapy sessions. *Psychother Res*, 2020, 30: 558–573
- 48 Hasson U, Frith C D. Mirroring and beyond: Coupled dynamics as a generalized framework for modelling social interactions. *Phil Trans R Soc B-Biol Sci*, 2016, 371: 20150366
- 49 Burgess A P. On the interpretation of synchronization in EEG hyperscanning studies: A cautionary note. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7: 00881
- 50 Davis T. The ties that bind: unintentional spontaneous synchrony in social interactions. In: Passos P, Davids K, Chow J Y, eds. *Interpersonal Coordination and Performance in Social Systems*. Routledge, 2016. 71–82
- 51 Ramseyer F, Tschacher W. Nonverbal synchrony in psychotherapy: Coordinated body movement reflects relationship quality and outcome. *J Consult Clin Psych*, 2011, 79: 284–295

Summary for “自闭症儿童头部旋转运动人际同步缺陷及其与自闭特征的关系”

Impairment of interpersonal synchrony of head rotation movement and its association with autistic traits in children with autism spectrum disorder

Xianke Chen^{1,2} & Jingying Chen^{1,2*}

¹ National Engineering Laboratory for Educational Big Data, Central China Normal University, Wuhan 430079, China;

² National Engineering Research Center for E-Learning, Central China Normal University, Wuhan 430079, China

* Corresponding author, E-mail: chenjy@mail.ccnu.edu.cn

A noteworthy characteristic of most social interactions is the coordination of behaviours. One of these is interpersonal motor synchrony, which relates to various aspects of successful social interactions, such as feelings of rapport, formation of a social unity and the quality of relationships. The importance of interpersonal motor synchrony in social interactions makes it a pathway to understanding mental disorders with social deficits, such as autism spectrum disorders (ASD). Individuals with ASD have shown reduced interpersonal motor synchrony in structured interpersonal motor tasks or naturalistic conversations. Moreover, the degree of synchrony of individuals with ASD correlates to symptom severity, social cognition competence, attention problems and communication abilities. However, existing literature mainly focuses on movements of the entire body or limbs. In addition to these aspects, head movements convey communicative information in social interactions. To the best of our knowledge, only one study has examined the interpersonal synchrony of head movement for children with ASD, although the focus was the head displacement in space. Another aspect of head movement, which is rotation, has been overlooked. Therefore, the current study explores the characteristics of the interpersonal synchrony of head rotation movement for children with ASD and the associations between head rotation synchrony and autistic traits.

Free play with teachers was selected as the scenario of social interactions. Autistic traits were quantified using the Chinese version of the Autism Spectrum Quotient: Children's Version (AQ-Child). A manual coding method was used to distinguish the episodes of two-way social engagement and one-way adult social engagement, which may affect the interpretation of results. The extraction of head rotation measures was based on the head angles in the directions of yaw, pitch and roll, which were estimated with a deep learning-based algorithm automatically. After pre-processing the raw time series of head angles and segmentation according to social engagement states, angular displacement and velocity were computed in each segment. Windowed cross-correlation was used to compute the interpersonal synchrony. A surrogate analysis method was then used to generate the level of synchrony and thus confirmed the presence of significant synchrony. The coding of social interactions revealed deficits in social reciprocity of children with ASD. The analysis showed that both the children with and without ASD exhibited the interpersonal synchronies of head rotation, which were greater than chance. However, the degree of synchrony of the ASD group was reduced compared with the typically developing control group in the directions of yaw and roll. In addition, the synchrony of head angular displacement in the direction of yaw was negatively correlated with AQ sub-scores of attention switching. Results help to complete the depiction of characteristics of the interpersonal motor synchrony in individuals with ASD, and extend the impairments of the motor synchrony to head rotation movement. More importantly, in contrast to synchrony of entire body and limb movements that relate to a broader set of traits of ASD, synchrony of head rotation specifically relates to attention problems, at least in the areas included in AQ. The decreased synchrony of head rotation indicates that children with ASD may have difficulties in coordinating their attention to the object of their social partners' attention during naturalistic social interactions, which may contribute to their deficits in social understanding and their odd and one-sided social behaviours.

children with autism spectrum disorder, social interaction, interpersonal synchrony, head rotation movement, autistic traits

doi: [10.1360/TB-2021-0856](https://doi.org/10.1360/TB-2021-0856)