

• 研究构想(Conceptual Framework) •

神经振荡影响快速言语识别的时间瓶颈*

高雅玥¹ 范家宁¹ 王 茜² 邓丽芳¹

(¹北京航空航天大学人文社会科学学院心理学系, 北京 100191)

(²北京大学心理与认知科学学院, 行为与心理健康北京市重点实验室,
麦戈文脑科学研究所, 北京 100871)

摘 要 大脑可以快速地加工信息以应对不断变化的环境, 其典型范例之一是快速言语识别。自然言语的瓶颈速率约为 8~12 音节/秒, 与神经振荡的 alpha 速率相近。此外, 已有研究表明 alpha 振荡可以调控知觉过程的时间分辨率。那么, alpha 振荡速率是否影响快速言语识别的时间瓶颈? 其作用机制是什么? 本研究利用心理物理学方法和认知神经科学方法, 从现象和机制两个方面考察 alpha 振荡如何影响快速言语识别的时间瓶颈。在现象方面, 本研究将验证快速言语识别的时间瓶颈与 alpha 振荡速率的一致性。在机制方面, 本研究将研究 alpha 振荡速率如何影响快速言语识别的行为表现, 又如何调控大脑对言语信号的神经加工过程。本研究希望找到快速言语识别的神经机制, 从而更深入地理解大脑的快速加工过程, 并进一步探讨神经振荡调控大脑时间分辨率的相关机制。

关键词 听知觉, 言语识别, 快速言语, 时间分辨率, alpha 波

分类号 B842.2

1 问题提出

在日常生活中, 大脑需要在短时间内快速处理大量信息, 如驾驶汽车在车流中穿梭, 如快速浏览音视频并实时获取信息。这种快速信息处理的能力让我们能够适应不断变化的环境。大脑如何快速地处理信息? 其速率瓶颈来自于何处? 这是心理学与神经科学的前沿热点问题, 至今尚未被完全破解。

快速言语的识别是快速信息处理的一个典型例子。人类的自然语速大约为每秒 2~5 个音节(Reynolds & Givens, 2001; Greenberg et al., 2003; Hyafil et al., 2015; Ding et al., 2017; Molinaro et al., 2021)。即使将语速提高到原来的 3 倍, 即每秒 8~12 个音节左右, 人们仍然可以理解言语含义。

但如果语速提高到原来的 3 倍以上, 对言语的识别将显著下降(Dupoux & Green, 1997; Peelle et al., 2004; Nourski et al., 2009)。这一时间瓶颈与神经振荡 alpha 振荡速率相一致。那么, 快速言语识别的时间瓶颈与大脑的 alpha 振荡频率有何关联? 这一关联如何解释了大脑实时加工的基本机制?

本研究拟使用脑电图、脑磁图和经颅电刺激, 考察快速言语识别的时间瓶颈是否取决于大脑的 alpha 振荡频率, 并进一步揭示大脑处理信息的时间分辨率及其背后的神经机制。本研究将从三个方面考察 alpha 振荡影响快速言语识别的机制: (1) Alpha 振荡的速率是否与快速言语识别的时间瓶颈相一致? (2) Alpha 振荡的速率如何调控快速言语的识别行为? (3) Alpha 振荡的速率如何影响快速言语的神经加工过程?

2 国内外研究现状

2.1 Alpha 振荡调控大脑的时间分辨率

近年来的研究表明, alpha 振荡的速率影响大脑处理过程的时间分辨率(Mathewson et al., 2009;

收稿日期: 2023-03-19

* 国家自然科学基金(32200862)资助, 中国科学院心理研究所经费资助(GJ202005), 北京航空航天大学人文社科青年骨干支持项目。

通信作者: 高雅玥, E-mail: gao_yayue@buaa.edu.cn

Dugué et al., 2011; Cecere et al., 2015; Keitel et al., 2019; Grabot & Kayser, 2020)。例如, 前人研究表明, 两个相邻的视觉光点有时会被感知为分隔的两个光点, 有时则会被感知为连续的一个光点。这种双光点知觉融合的临界间隔约为 90~130 ms 左右, 换算到频域约为 8~12 Hz, 与 alpha 频率范围一致。并且, 对于每个被试来说, 其知觉融合的临界间隔与自身 alpha 振荡的频率一致。即被试自身 alpha 振荡频率越高, 或者说一个 alpha 振荡周期时间越短, 双光点知觉融合的临界间隔就越小; 反之, 若被试自身 alpha 振荡频率越低, 即一个 alpha 振荡周期时间越长, 则双光点知觉融合的临界间隔就越大(Samaha & Postle, 2015; Ronconi & Melcher, 2017)。同时, 通过经颅电刺激调整 alpha 振荡的速率, 也可以改变知觉融合的临界间隔。对于两个相同时间间隔的刺激, 当 alpha 振荡较快时, 两个相邻刺激的间隔会超过一个 alpha 周期, 则被试可以分辨其为两个刺激; 反之, 如果 alpha 振荡较慢, 两个刺激都落在同一个 alpha 周期内, 被试便难以分辨这两个刺激。

此外, alpha 振荡的频率同样影响了其他瞬时知觉的时间分辨率。例如, 时间相近的视觉和听觉信号可能会被知觉为前后独立或同时发生的信号, 这取决于视觉和听觉两信号呈现的间隔时间。研究表明这一间隔时间的阈限也与 alpha 振荡的速率有关, 即间隔短于一个 alpha 周期的视觉和听觉信号, 得以在同一周期内被加工, 更容易被知觉为同时发生(Cecere et al., 2015)。又例如两点的闪烁可能被知觉为不同的运动模式, 也取决于闪烁前后帧的间隔时间是否长于一个 alpha 周期, 从而导致前后两帧是否在同周期内被整合(Shen et al., 2019)。这意味着, alpha 振荡的频率会影响大脑如何处理时间相近的信息, 即落在一个 alpha 周期内的多个刺激难以被分辨。

特别要说明的是, alpha 振荡速率对时间分辨率的影响不仅限于视觉过程。如上所述, 视听整合的阈限时间也与 alpha 振荡的周期时间有关(Cecere et al., 2015)。这意味着, alpha 振荡的影响可能不仅限于知觉过程, 而是涉及到更高级的识别整合过程。那么, 各感觉通道, 包括听觉通道, 其时间分辨率都会受到 alpha 振荡的调控。此外, 已有研究也表明, 听觉通道的识别过程也会受到 alpha 振荡的影响。比如, alpha 振荡的相位会影响

听者在噪音下的声音识别(Neuling et al., 2012), 或影响听者对不同声音信号的差异辨别(Hansen et al., 2019)。又比如, alpha 振荡会帮助连续言语信号的分割过程(Shahin & Pitt, 2012), 从而为言语识别打好基础。因此, 言语识别的时间瓶颈很可能也取决于 alpha 振荡的速率。

2.2 Alpha 振荡影响快速言语识别的机制

Alpha 振荡影响快速言语识别的机制是一个复杂过程。上述研究已经表明, alpha 振荡影响大脑时间分辨率的关键在于不同刺激是否落在同一个 alpha 振荡周期内。也就是说, 大脑可以充分加工间隔超过一个 alpha 周期的相邻两刺激, 而难以同时加工落在一个 alpha 周期的两个刺激。这意味着大脑知觉识别的时间瓶颈与 alpha 振荡的频率有关(Samaha & Postle, 2015; Ronconi & Melcher, 2017)。因此, 在快速言语识别领域, 相邻音节是否落在同一个 alpha 振荡周期内, 很可能是识别行为的关键。

此外, 另一个需要解决的重要问题是, alpha 振荡主要调控快速言语识别的哪个过程, 是初级的感觉过程, 还是更高级的知觉组织过程。现有的研究证据大多支持 alpha 振荡的调控并不基于初级感觉过程。原因有如下两点。其一, 有研究发现, 在言语加速到难以理解的 4 倍速情形下, 听皮层的神经振荡与言语包络仍然有很高的相关性。换言之, 即使言语速度加快到不可理解的程度, 初级听皮层仍可以很好地追随语音包络。这说明初级感觉皮层可以很好地追随快速言语信号的波动(Nourski et al., 2009; Mukamel et al., 2011)。这种简单的言语-神经追随不受语速的影响, 并不是快速言语识别的时间瓶颈。因此, alpha 振荡对快速言语识别的调控更可能是一种高层的、后期的调控, 会影响信息的后期整合。其二, 根据认知神经方向的现有研究, 并不只有初级感觉皮层能够表征言语信号的时间信息。在其他皮层, 例如听觉皮层和运动皮层都能捕捉到对言语包络的追随(Wilson et al., 2004; Du et al., 2014; Cheung et al., 2016; Assaneo & Poeppel, 2018; Park et al., 2018)。而左侧额下回广泛参与言语加工过程, 也可能是快速言语处理的关键脑区之一(Adank & Devlin, 2010; Peelle et al., 2010; Vagharchakian et al., 2012)。这些研究结果都说明 alpha 振荡影响快速言语识别的调控机制应当是涉及高级认知脑区的

复杂过程。

最后要说明的是,当前对 alpha 振荡调控刺激分辨的神经机制的研究中存在一定不足。由于现有研究其刺激都是光点或短音,持续时间过短,因此无法得知 alpha 振荡如何影响对刺激本身的神经表征(Cecere et al., 2015; Samaha & Postle, 2015; Ronconi & Melcher, 2017; Shen et al., 2019; Grabot & Kayser, 2020)。即是说,在研究过程中首先需要描绘刺激本身的神经表征,之后才能探究 alpha 振荡怎样对此神经表征产生影响。那么,对于言语这种长时程信号,可以很方便地记录并解码其相应的神经表征。此外,已有研究表明,言语的神经表征可受调节并体现言语可懂度(Ding & Simon, 2012; Mesgarani & Chang, 2012; Brodbeck et al., 2018; Zou et al., 2019)。因此,后续研究应当利用长时程言语信号及其神经表征,可以进一步阐释 alpha 振荡如何调控刺激自身的神经表达,从而影响知觉过程的时间分辨率。

3 研究构想

为了深入研究 alpha 振荡影响快速言语识别的神经机制,我们提出了以下三个相互关联且层层深入的研究内容:(1)研究 1 验证大脑 alpha 振荡是否影响快速言语识别的时间瓶颈,即两者是否一致。(2)若研究 1 已经证实 alpha 振荡影响了言语识别的时间瓶颈,研究 2 将详细阐述 alpha 振荡如何调控快速语言识别的行为表现,并重点考察这种调控是否基于高级认知过程。(3)在研究 1、研究 2 的基础上,研究 3 将进一步在脑活动层面上考察, alpha 振荡的调控作用如何反映在言语的神经表征中。

3.1 研究 1: 快速言语识别的时间瓶颈与 alpha 振荡频率的一致性

已有研究表明,自然语速约 2~5 字/秒,而大脑最快可以识别约 3 倍语速的快速言语(Dupoux & Green, 1997; Ghitza & Greenberg, 2009; Vagharchakian et al., 2012; Borges et al., 2018)。即是说,言语识别的时间瓶颈约为每秒 8~12 个音节(字),恰好与 alpha 振荡的频率区间相重合。如果个体快速言语识别的时间瓶颈与其固有的 alpha 振荡的频率相一致,则这一结论能够为 alpha 振荡是否可以调控言语识别行为提供核心证据。因此,研究 1 设计了两个实验来验证快速言语识别的时间瓶颈是

否与 alpha 振荡的频率相一致。

研究 1 的子实验 1 假设快速言语识别的时间瓶颈与大脑 alpha 振荡的频率相一致,且具有相关关系。研究 1 预计招募较大规模被试,分别测量被试对快速言语识别行为的时间瓶颈(即言语识别的阈限速率)和被试自身固有的 alpha 振荡频率,并考察这两个变量是否具有相关性。即个体固有的 alpha 振荡频率越快,是否其言语识别的阈限速率就越快。研究 1 使用不同语速(8~12 Hz)的言语材料,记录被试在不同语速下的识别率,并计算 50%识别率对应的阈限语速。同时,将使用脑电图记录并提取每个被试的 alpha 振荡峰值频率。将行为与电生理数据相结合,子实验 1 考察被试的行为阈限与 alpha 振荡频率是否相一致。

研究 1 的子实验 2 考察大脑 alpha 振荡的频率是否能实时预测言语识别的时间瓶颈。即是说,在每个被试内,试次前的 alpha 振荡频率应可以预测该试次的行为结果。对于每个被试,使用 10Hz 的快速言语进行多次实验,并记录其言语识别正确率。根据行为结果,不同试次分为不同正确率的几组,分别计算并比较各组试次前的 alpha 振荡频率。子实验 2 想考察,是否行为成绩越好的试次,其 alpha 振荡的频率就越快。研究 1 的两个实验都希望证实 alpha 振荡的速率与被试快速言语识别的时间瓶颈一致。

3.2 研究 2: Alpha 振荡调控快速言语识别的行为表现

研究 2 旨在具体考察 alpha 振荡如何调控快速言语识别的行为表现。具体而言,研究 2 将使用较慢(8 Hz)和较快(12 Hz)的 alpha 振荡频率,记录快速言语识别的行为成绩,考察更快的 alpha 振荡是否带来更好的快速言语识别表现。同时,研究 2 也将考察 alpha 振荡对时间瓶颈的调控是否基于高层认知过程。如前所述, alpha 振荡对快速言语识别的影响,更可能是一种不基于感觉皮层的、高层的、后期的调控。为了验证这种高层调控的假设,研究 2 设计了两个实验来考察 alpha 振荡是否不需要基于听皮层就可以调控快速言语的识别过程。

研究 2 的子实验 1 想探究,操控被试的 alpha 振荡频率,是否可以调控快速言语识别的行为表现。具体来讲,子实验 1 在 10 Hz 的快速言语前,使用听觉纯音操控被试的 alpha 振荡频率,呈现

更快(12 Hz)或更慢(8 Hz)频率的纯音,并测试被试对快速言语的识别成绩。子实验1想考察更快的alpha振荡(12 Hz)是否帮助言语识别,使其行为表现更好?子实验1希望证实,改变alpha振荡频率的确可以调控快速言语识别的行为表现。

在子实验1的基础上,研究2的子实验2进一步考察alpha振荡频率如何从高层级调控快速言语识别的行为表现。子实验2使用经颅电刺激来诱发alpha振荡,考察不同脑区,即听皮层与非听皮层,其alpha振荡调控言语识别的效果。具体而言,在10 Hz的快速语音前,使用更快(12 Hz)或更慢(8 Hz)的alpha振荡来电刺激被试。刺激脑区选择4个脑区,中心电极根据脑电系统放置于左听皮层(T7)、右听皮层(T8)、中央运动区(Cz)、前额叶(FPz)4个位置。子实验2想探索:1)同子实验1,更快的alpha振荡(12 Hz)是否带来更好的言语识别成绩?2)不同脑区的alpha振荡是否都可以达到此调控效果,如前额叶的alpha振荡是否也可以调控言语识别行为?子实验2希望证明alpha振荡的速度调控了大脑快速言语识别的行为表现,且这种调控基于高级的认知过程。

3.3 研究3: Alpha振荡调控大脑对言语加工的神经过程

前两个研究证实alpha振荡调控快速言语识别的行为表现,接下来,研究3将在神经层面讨论alpha振荡如何影响大脑对快速言语的加工过程。如前所述,即使加快到不可理解的言语,初级听皮层仍可以很好地追随其语音包络(Nourski et al., 2009; Mukamel et al., 2011)。因此,alpha振荡对言语神经表征的调控应基于高级认知过程而影响信息的后期整合,更可能体现在言语神经表征上。解码言语的神经表征,可以体现言语可懂度、言语理解等高级过程(Zion Golumbic et al., 2013; Leonard et al., 2016; Brodbeck et al., 2018; Zou et al., 2019)。在此基础上,研究3将从两方面进行分别考察:1)对于快速言语识别的神经过程,alpha振荡是影响对语音信号的简单时间追随,还是影响更高级的认知过程,以更复杂的方式体现在言语神经表征上?2)Alpha振荡对快速言语神经表征的调控在初级听觉皮层,还是在更高级功能的脑区如运动皮层和前额叶皮层?

研究3将在神经层面探讨alpha振荡如何影响大脑对快速言语的加工过程。同之前的研究,研

究3同样使用10 Hz的快速言语刺激,记录被试对言语的识别成绩。同时,研究3使用脑磁图记录被试对言语信号的神经响应,并使用时间响应函数解码言语信号的神经表征。将所有试次随机分为两集合,作为训练集和测试集。对于训练集的各试次,根据试次前alpha振荡的快慢,分为高频组和低频组,并训练分类器对不同组别的神经表征进行分类。接下来,用训练好的分类器将测试集试次根据其神经表征进行再分组,考察两组的言语识别成绩是否有差异。研究3想探索:1)神经表征过程如何受alpha振荡调控,即alpha振荡频率分类的神经表征在波形、峰值、潜伏期等指标上有哪些差异。2)这种调控是否与快速言语识别相关,即高频alpha组对应的神经表征特征,是否可以预测更好的识别成绩。3)考察这种alpha振荡对言语神经表征的调控,在不同脑区是否有所差别。研究3希望说明,alpha振荡如何影响言语信号的神经编码方式,从而帮助快速言语的识别。

4 理论建构

本研究提出alpha振荡影响快速言语识别时间瓶颈的模型假设(图1)。在一个alpha振荡周期内,大脑难以同时加工两个刺激(Samaha & Postle, 2015; Ronconi & Melcher, 2017)。因此,当语速慢于alpha振荡频率时,多个alpha振荡周期加工一个字/音节,则言语可以被充分加工并识别。然而,当语速逐渐加快,直至快于alpha振荡频率时,则在一个alpha振荡周期内同时存在多个字/音节,此时多个字/音节互相抢占认知资源,从而均无法被充分加工,言语难以被大脑识别。

本研究有三点创新之处。第一,本研究以大脑alpha振荡为切入点考察快速言语识别的时间瓶颈。对于快速言语识别的时间瓶颈,已有研究更多地集中于快速言语识别的行为成绩曲线(Dupoux & Green, 1997; Vagharchakian et al., 2012; Pefkou et al., 2017),或线索等外界条件对快速言语识别的影响(Borges et al., 2018)。本研究明确了快速言语识别的本质属于知觉加工的时间分辨率问题。因此,本研究突破性地以大脑alpha振荡为切入点,提出“alpha振荡是快速言语识别的关键”的理论假设。本研究考察alpha振荡如何调控快速言语识别的时间瓶颈,为快速言语的识别行为相关研究提供了新的视角。

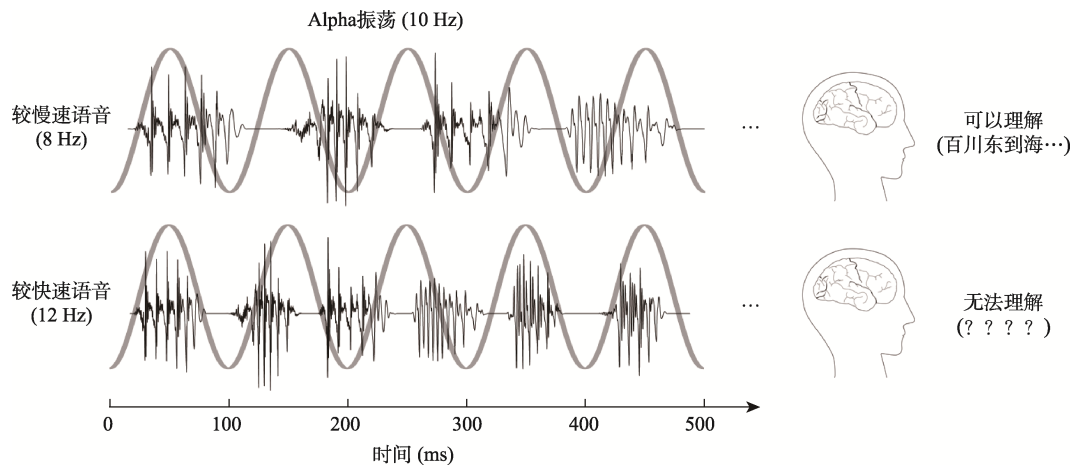


图1 Alpha 振荡调控快速言语识别的模型假设。当 alpha 振荡频率较快时(上), 不同字/音节落在不同 alpha 振荡周期, 言语可以被充分加工识别, 并未到时间瓶颈。当 alpha 振荡频率较慢时(下), 多个字/音节争夺一个 alpha 振荡周期内的认知资源, 言语无法被识别, 存在时间瓶颈。

本研究以 alpha 振荡为例考察了神经振荡如何作用于认知过程。以往考察 alpha 振荡对行为表现的影响(Samaha & Postle, 2015; Ronconi & Melcher, 2017; Ho et al., 2019; Grabot & Kayser, 2020), 但对于这种调控的具体机制并不清楚。本研究创新性地考察 alpha 振荡调控言语识别的机制是否基于高级过程, 即高级脑区如额叶的 alpha 振荡能否也调节快速言语识别。本研究可以更好地理解大脑神经振荡如何调控知觉的时间分辨率, 验证神经振荡的调控是否基于高级认知过程。

第三, 本研究可以观测神经振荡如何调控刺激自身的神经表征。虽然以往研究已经探索了 alpha 振荡调控时间分辨率的机制, 但这些研究中刺激都是简单的光点或似动现象(Samaha & Postle, 2015; Ronconi & Melcher, 2017; Shen et al., 2019)。这类刺激持续时间很短, 难以观测到刺激自身的神经表征, 因此无法推测 alpha 振荡如何调控刺激自身的神经表征。本研究创新性地使用言语这种长时程的复杂信号作为研究对象。由于言语信号持续时间长且复杂, 其神经表征可以被观测及解码。因此本研究可以更深入地了解 alpha 振荡影响瞬时加工的神经机制。

综上, 本研究使用快速言语序列, 考察 alpha 振荡如何调控其识别的时间瓶颈, 验证 alpha 振荡的作用是否基于高级认知过程, 并探究这种 alpha 振荡的作用如何体现于大脑对刺激的神经表征。本研究旨在更好地理解神经振荡如何调控

知觉的时间分辨率, 进而探索神经振荡影响快速加工的通用机制。

参考文献

- Adank, P., & Devlin, J. T. (2010). On-line plasticity in spoken sentence comprehension: Adapting to time-compressed speech. *Neuroimage*, 49(1), 1124–1132.
- Assaneo, M. F., & Poeppel, D. (2018). The coupling between auditory and motor cortices is rate-restricted: Evidence for an intrinsic speech-motor rhythm. *Science Advance*, 4(2), Article eaao3842. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao3842>
- Borges, A. F. T., Giraud, A. L., Mansvelder, H. D., & Linkenkaer-Hansen, K. (2018). Scale-free amplitude modulation of neuronal oscillations tracks comprehension of accelerated speech. *Journal of Neuroscience*, 38(3), 710–722.
- Brodbeck, C., Hong, L. E., & Simon, J. Z. (2018). Rapid transformation from auditory to linguistic representations of continuous speech. *Current Biology*, 28(24), 3976–3983.
- Cecere, R., Rees, G., & Romei, V. (2015). Individual differences in alpha frequency drive crossmodal illusory perception. *Current Biology*, 25(2), 231–235.
- Cheung, C., Hamiton, L. S., Johnson, K., & Chang, E. F. (2016). The auditory representation of speech sounds in human motor cortex. *Elife*, 5, Article e12577. <https://doi.org/10.7554/eLife.12577>
- Ding, N., Patel, A. D., Chen, L., Butler, H., Luo, C., & Poeppel, D. (2017). Temporal modulations in speech and music. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 81(Pt B), 181–187.
- Ding, N., & Simon, J. Z. (2012). Emergence of neural encoding of auditory objects while listening to competing

- speakers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(29), 11854–11859.
- Du, Y., Buchsbaum, B. R., Grady, C. L., & Alain, C. (2014). Noise Differentially impacts phoneme representations in the auditory and speech motor systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(19), 7126–7131.
- Dugué, L., Marque, P., & VanRullen, R. (2011). The phase of ongoing oscillations mediates the causal relation between brain excitation and visual perception. *Journal of Neuroscience*, 31(33), 11889–11893.
- Dupoux, E., & Green, K. (1997). Perceptual adjustment to highly compressed speech: Effects of talker and rate changes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(3), 914–927.
- Ghitza, O., & Greenberg, S. (2009). On the possible role of brain rhythms in speech perception: Intelligibility of time-compressed speech with periodic and aperiodic insertions of silence. *Phonetica*, 66(1-2), 113–126.
- Grabot, L., & Kayser, C. (2020). Alpha activity reflects the magnitude of an individual bias in human perception. *Journal of Neuroscience*, 40(17), 3443–3454.
- Greenberg, S., Carvey, H., Hitchcock, L., & Chang, S. Y. (2003). Temporal properties of spontaneous speech—a syllable-centric perspective. *Journal of Phonetics*, 31(3-4), 465–485.
- Hansen, N. E., Harel, A., Iyer, N., Simpson, B. D., & Wisniewski, M. G. (2019). Pre-stimulus brain state predicts auditory pattern identification accuracy. *Neuroimage*, 199, 512–520.
- Ho, H. T., Burr, D. C., Alais, D., & Morrone, M. C. (2019). Auditory perceptual history is propagated through alpha oscillations. *Current Biology*, 29(24), 4208–4217.
- Hyafil, A., Fontolan, L., Kabdebon, C., Gutkin, B., & Giraud, A. L. (2015). Speech encoding by coupled cortical theta and gamma oscillations. *Elife*, 4, Article e06213. <https://doi.org/10.7554/eLife.06213>
- Keitel, C., Keitel, A., Benwell, C. S. Y., Daube, C., Thut, G., & Gross, J. (2019). Stimulus-driven brain rhythms within the alpha band: The attentional-modulation conundrum. *Journal of Neuroscience*, 39(16), 3119–3129.
- Leonard, M. K., Baud, M. O., Sjerps, M. J., & Chang, E. F. (2016). Perceptual restoration of masked speech in human cortex. *Nature Communications*, 7, Article 13619. <https://doi.org/10.1038/ncomms13619>
- Mathewson, K. E., Beck, D. M., Ro, T., Fabiani, M., & Gratton, G. (2009). Illuminating awareness: Investigating the temporal and spatial neural dynamics of metacontrast masking using the event-related optical signal. *Journal of Vision*, 9(8), 765.
- Mesgarani, N., & Chang, E. F. (2012). Selective cortical representation of attended speaker in multi-talker speech perception. *Nature*, 485(7397), 233–236.
- Molinaro, N., Lizarazu, M., Baldin, V., Pérez-Navarro, J., Lallier, M., & Ríos-López, P. (2021). Speech-brain phase coupling is enhanced in low contextual semantic predictability conditions. *Neuropsychologia*, 156, 107830.
- Mukamel, R., Nir, Y., Harel, M., Arieli, A., Malach, R., & Fried, I. (2011). Invariance of firing rate and field potential dynamics to stimulus modulation rate in human auditory cortex. *Human Brain Mapping*, 32(8), 1181–1193.
- Neuling, T., Rach, S., Wagner, S., Wolters, C. H., & Herrmann, C. S. (2012). Good vibrations: Oscillatory phase shapes perception. *Neuroimage*, 63(2), 771–778.
- Nourski, K. V., Reale, R. A., Oya, H., Kawasaki, H., Kovach, C. K., Chen, H., ... Brugge, J. F. (2009). Temporal envelope of time-compressed speech represented in the human auditory cortex. *Journal of Neuroscience*, 29(49), 15564–15574.
- Park, H., Ince, R. A. A., Schyns, P. G., Thut, G., & Gross, J. (2018). Representational interactions during audiovisual speech entrainment: Redundancy in left posterior superior temporal gyrus and synergy in left motor cortex. *PLoS Biology*, 16(8), Article e2006558. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2006558>
- Peelle, J. E., McMillan, C., Moore, P., Grossman, M., & Wingfield, A. (2004). Dissociable patterns of brain activity during comprehension of rapid and syntactically complex speech: Evidence from fMRI. *Brain and Language*, 91(3), 315–325.
- Peelle, J. E., Troiani, V., Wingfield, A., & Grossman, M. (2010). Neural processing during older adults' comprehension of spoken sentences: Age differences in resource allocation and connectivity. *Cerebral Cortex*, 20(4), 773–782.
- Pefkou, M., Arnal, L. H., Fontolan, L., & Giraud, A. L. (2017). θ -band and β -band neural activity reflects independent syllable tracking and comprehension of time-compressed speech. *Journal of Neuroscience*, 37(33), 7930–7938.
- Reynolds, M. E., & Givens, J. (2001). Presentation rate in comprehension of natural and synthesized speech. *Perceptual and Motor Skills*, 92(3 Pt 2), 958–968.
- Ronconi, L., & Melcher, D. (2017). The role of oscillatory phase in determining the temporal organization of perception: Evidence from sensory entrainment. *Journal of Neuroscience*, 37(44), 10636–10644.
- Samaha, J., & Postle, B. R. (2015). The speed of alpha-band oscillations predicts the temporal resolution of visual perception. *Current Biology*, 25(22), 2985–2990.
- Shahin, A. J., & Pitt, M. A. (2012). Alpha activity marking

- word boundaries mediates speech segmentation. *European Journal of Neuroscience*, 36(12), 3740–3748.
- Shen, L., Han, B., Chen, L., & Chen, Q. (2019). Perceptual inference employs intrinsic alpha frequency to resolve perceptual ambiguity. *PLoS Biology*, 17(3), Article e3000025. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000025>
- Vagharchakian, L., Dehaene-Lambertz, G., Pallier, C., & Dehaene, S. (2012). A temporal bottleneck in the language comprehension network. *Journal of Neuroscience*, 32(26), 9089–9102.
- Wilson, S. M., Saygin, A. P., Sereno, M. I., & Iacoboni, M. (2004). Listening to speech activates motor areas involved in speech production. *Nature Neuroscience*, 7(7), 701–702.
- Zion Golumbic, E. M., Ding, N., Bickel, S., Lakatos, P., Schevon, C. A., McKhann, G. M., ... Schroeder, C. E. (2013). Mechanisms underlying selective neuronal tracking of attended speech at a "cocktail party". *Neuron*, 77(5), 980–991.
- Zou, J., Feng, J., Xu, T., Jin, P., Luo, C., Zhang, J., ... Ding, N. (2019). Auditory and language contributions to neural encoding of speech features in noisy environments. *Neuroimage*, 192, 66–75.

Neural oscillation modulates the temporal bottleneck in accelerated speech comprehension

GAO Yayue¹, FAN Jianing¹, WANG Qian², DENG Lifang¹

(¹ Department of Psychology, School of Humanities and Social Sciences, Beihang University, Beijing 100191, China)

(² School of Psychological and Cognitive Sciences, Beijing Key Laboratory of Behavior and Mental Health,

IDG/McGovern Institute for Brain Research, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Humans can understand speech presented at extremely fast rates. In essence, the temporal bottleneck for speech comprehension occurs at a rate of 8~12 syllables per second, which closely aligns with the alpha band of neural oscillations. Moreover, previous studies suggest that alpha oscillation plays an important role in the temporal resolution of perception. Thus, the current study aims to investigate whether and how the speed of alpha oscillation predicts the temporal bottleneck in accelerated speech comprehension. Firstly, we will test whether the temporal bottleneck of accelerated speech comprehension is consistent with the speed of alpha oscillation. Secondly, we will investigate the underlying neural mechanisms of how alpha oscillation modifies speech comprehension. This study aims to uncover the fundamental mechanisms behind accelerated speech comprehension, providing valuable insights into ongoing brain activity and the role of neural oscillations in facilitating temporal integration.

Keywords: auditory perception, accelerated speech comprehension, temporal resolution, alpha band