A whiteboard with writing on it

Description automatically generated

**The influence of response effector on decision adaptations due to prior expectations and speed pressure**

**例子**（decision & motor; speed-acc/ time pressure; prior; continuous flow; muscle diff.; decision adaptation）

Egg smash

当玩派对游戏 ‘egg smasher‘时, 参与者需要在逐渐加快的节奏下做出预定动作的一种（例如：拍打盒子, 拍打鸡蛋旁边的桌面或者抓取盒子以诱导对手拍碎鸡蛋）。但什么影响了游戏者的决策以及最终的动作的形成。大脑的决策与动作的执行是先后的关系还是同时发生相互影响？不同位置肌肉是否受同一种策略控制？逐渐增加的时间压力压缩了玩家的决策时间还是动作时间？对于最终动作的决策会多大程度的被激进或保守的游戏策略所影响？

~~接水/Jungle Speed 备用/投掷棒球 （无法一个例子描述全部）~~

**背景与动机**

目前对于决策的研究用简单动作（按钮或鼠标），造成两个问题。第一把motor process 简化为delay。第二全集中在远端肌肉（手指或大拇指的移动）。但不同位置的肌肉控制与决策天然存在着生理或功能方面的不同，例如手与脑区的链接比手臂多且复杂。使用远端肌肉实验总结出的的感知-决策-动作关系是否与近端肌肉的感知-决策-动作关系相同是尚未解决的问题。有了肌电界面的帮助，结合eeg技术我们能更好的研究不同位置肌肉的决策适应性以及感知-决策-运动关系的区别。

**EEG方面文献 (detailed)**

主流的认知神经科学研究使用SSM，DDM和NI描述感知—决策—行动过程的数学模型。

SSM表明个体在决策过程中并不会一次性获取所有信息，而是通过一系列连续的感知步骤（sequential sampling）逐渐积累信息，为决策提供新的数据。 同时个体会根据当前的情境有不同策略的选择是否继续采集更多信息，每一次采样都依赖于前一次的感知输入，循环迭代，直到积累足够的证据做出决策。

DDM (Drift Diffusion Model) 通常用于描述二选一决策任务，它强调证据的“漂移” （朝某一决策方向倾斜），过程并以“扩散”（随机波动）方式积累信息。且阈值的设定会影响决策的速度和准确性。（Ratcliff, R. (1978)）。

但是SSM 不能区分三大进程sensory，cognitive， motor。所以需要更好的解释neuro-musclar中被大多数研究忽略的的motor control。

（需再看）最近的的NI 模型相比DDM可以更好的解释行为数据，且加入了对motor的描述和对decision adaptation的概念。区别于DDM的与证据强度有关的平均drift rate，它引入了与证据无关的urgency signal。还有先于刺激的，影响起始点的两个race to threshold 运动准备（**Pre-evidence Motor Preparation**）信号。它把决策分为evidence encoding, the onset of evidence accumulation, and the time after the decision for motor execution三个部分。在NI模型的帮助下,模型同时考虑行为数据与EEG数据，更精确的对的阶段决策的不同阶段进行mutililevel的理解。例如NI模型对muscle activation前的motor preparation阶段解释为不同的起点。对于本研究，不同的肌肉是否会有不同的starting point?

表格XXX. 三种模型的不同

通过这些模型时间压力的决策被解释为XXX；先验期待（DDM/NI都有）下的决策被解释为XXX

近期的行为理论研究把决策模型按照decision process, Choice,和Preparation之间的相互关系分为三类。比较经典的SSM和DDM属于‘decision-then-action’的串联模型，是指先处理感官信息，然后做决定后开始执行motor response。目前最权威的NI模型属于‘decision-and-action’平行模型，它侧重于连续流的概念，认为一旦受到感官信息，就开始向motor传输信号用于planning或excutation，意味着在决策结束前，运动系统已经对potential action准备好了。最后一种‘action feedback into decision-making‘的Embodied choice model模型为下一代的模型提供了预测，提出了存在连续的feedback loop以显示运动系统的是实时状态，且加入了commitment effect。 意味着CoMs随着action的执行更少可能的发生。显然，后两种模型种类能更好的解释action/motor如何影响decision making。

图xxx 三种决策模型

对于分类decision-then-action, decision-and-action， action feedback into decision-making模型的关键特征，也有单独的研究解释它和decision与motor的关系。主流的研究表明存在自上而下（sensory不停流向neuro-muscular）的信息流可以很好的解释的decision adaptation，作为持续interplay between sensory inputs and motor outputs的结果。这很好的解释了人们不停的整合新的信息来实时调整他们的motor plan。此外，由于contious flow的存在，目前的研究认为决策边界是动态受 level of motor preparation影响的。意味着 the readiness to action/response 可以影响 how the brain processes sensory information。换句话说，motor planning可以使DM系统对新信息更敏感。 但也有类似的研究表明对新信息的敏感程度也取决于Confirmation Bias（doner）,但其与motor prepartion的关系尚不明确。CoMs也可以用来解释decision adaptation现象以及补全连续流的概念，它描述了在最终动作结束前仍有可能改变决策以及动作。这主要暗示了有两个决策边界，其中第一个边界作为初始决策，第二个边界为decision commitment 的点，意味着一旦越过了这个点，决策将无法被改变。这进一步解释了运动系统的实时状态对决策造成的影响。

目前大部分分文章集中在forward flow， 但实际情况是运动系统的实时状态也影响着sensory area的接收效率（reflex gain）。且Feedback flow 也有decision adaptation/适应的行为被发现，例如motor任务中perturbance手用震动，发现reflex gains可以实时调节sensory strength and duration，类似乘除accumulated evidence/DV 。证明了在sensory processing areas and motor planning regions ，存在feedback loop，这意味着motor planning不仅可以根据sensory input调整，还会受到the state of motor planning的影响。

**EMG方面文献**

虽然EEG决策模型对于大脑决策机制的解释已经越来越精确，但是不同肌肉的neuro-musclar模式并没有被目前的决策模型很好的解释，不同肌肉的与脑区连接强度，不同肌肉纤维类型都会影响最终的行为数据结果。

EMG决策模型的研究也大多停留在远端肌肉上，最新提出的Double threshold diffusion model（DTDM）属于平行的决策模型。DTDM有一个类似于CoM的第一边界，到达会有parial burst， 也会有第二个边界类似commiment，到达没有回头路，即无法改变最终决策。与EEG决策模型不同的是，它在NI模型的基础上加了一个 response/action preparation，意味着它允许提前启动动作,在累积的信息通过决策边界前。为了研究motor execution，EMG模型也有四个组成部分 （starting point, drift rate, threshold, nondecision time）.DTDM模型的RT由PMT 和MT组成，其中PMT （premotor time= sensory accumulation + decision making）。MT（ motor execution time 和传统DM一样）。**这意味着相对于EEG模型，从EMG出发的模型可以更精准的定位decision commitment时间。**另一篇文章进一步证实了在更精确的区分的300-400ms的非决策时间，其中220ms来自感官，80ms 来自motor。

有研究在生理学方面给出了见解，在不同位置的肌肉从近到远（如Neck- biceps- FDI ），在forward loop中的motor delay会随着距离增加而增加。当把feedback loop的时间也考虑进去，眼睛接收到刺激再作出反应的时间明显延长，证实了存在sensory encoding delay。但不同肌肉feedback delay是否存在不同以及是否所有的肌肉有这个反馈通路缺很少被研究。由于大部分研究对肌肉的定位都是触摸诊断，为了更好的研究进远端肌肉与近端肌肉在感知-决策-行动期间的不同，我们选择了两个研究最常用的肌肉Bicep (BCP) vs First dorsal interosseous (FDI)作为研究对象。二头肌motor unit更大，更多type1 fiber导致对fatigue的耐受和对Sustained, Stable 移动的支持, 意味着一旦触发了行动，就不容易临时改变。这就导致了近端主要由同意聘任 fiber组成的肌肉的运动控制更依赖预编程的指令（像series模型少feedback）。根据boardman map，控制bicep肌肉的脑区的位置更接近于中间。而FDI类似的远端肌肉的motor unit由更小的Type2组成，让它启动更快改变和准确，但更容易疲劳。为了更准确motor planning and execution所以存在sensory feedback ，实时调整更像平行模型。且脑部与FDI的连接更多，同时更多的脑区会参与控制（比如cerebellum and basal ganglia ）。

有实验比较 让参与者 休息，观察写字，观察手臂移动，同时记录TMS 来学习观察时他人运动时的Motor evoked potentials (MEP)，表明Motor area 在移动前的inhibition被减弱，但只在contract muscle （biceps），而不是relax muscle (tricpes); 这与Mu-beta (MB) decreases 在post-cue后 的最近发现相似。另一个有趣的发现是在观察手臂移动时，MEP在proximal肌肉出现，但这现象在远端肌肉如FDI没有观察到。这个研究表明了进远端肌肉间存在物理性以及控制策略上的差异，从而大胆的猜测becips偏向于预编程，串联自上而下，FDI更多feedback loop（如负反馈/更多的实时抑制），并联或embodided loop。

为了分开讨论肌肉端在forward flow 和feedback flow上的不同回路上时间的区别，有一个研究放置了电极, 测试了很多肌肉，发现不同肌肉的EEG latencies随着离脑的距离增加，如BCP15ms,FDI 25ms。但是EEG的amplitude 在不同肌肉间相同，意味着sensorimotor cortex 对于进远端肌肉没有明显区别

另一个review展示了三个核心进程的框架，behavioral goal是 (WHAT），身体present state是（Where）, motor commands 是（how）.

It emphasizes 了sensory feedback 的作用在more fluid, accurate, and effortless 的motor action. 在我的实验中力需要维持在一个threshold，可以研究sensory feedback。简单来说我们需要更好地解释motor preparation,但是它会被feedback, sensory, top-down 同时影响。目前最新的研究只有少部分提到了top-down 连续流。这个实验的结果表明对肢体传入的feedback反应至少60ms，远端肌肉加10ms, 对视觉传入的要90ms (存在sensory encoding delay)。

**现阶段研究问题与假设（核心问题+重要性）**

现阶段决策的研究集中在远端肌肉的行为数据并且简化了运动状态的影响。因此更好的解释neuro-musclar中的motor control对补全决策模型的解释非常重要。 在老的SSM模型里motor被归类为前两个进程如perceptual/cognitive。此研究的核心问题是对于不同的进远端肌肉，从sensory to motor area的决策进程是否一样？且由motor preparation signal展现出的decision adaptation现象是否在操纵了不同的实验条件（如speed pressure, prior probilitory …）后在不同肌肉上都能观察到？换句话说，实时适应决策的能力/决策的策略是否取决于使用的不同肌肉。有了额外的肌电界面加入，我们可以在EEG,行为数据的基础上在时间尺度上更细致的对比不同条件下手指和二头肌移动的决策进程，在实验设计和数据处理上也可以在motor层面（大多数的DM研究只操作sensory和cognitive 层面）进行设计和操作，例如可以通过EMG onsite time精确定位decision commitment 时间。

目前的主要研究问题是，在不同的决策条件下，肌肉群之间的运动准备是否不同，而 且是否会进而引发感官信息以及决策阶段的不同。并从生理数据提出主要假设，近端肌肉对预先编程的运动指令的依赖性更大，而远端肌肉则根据感觉输入动态地适应。

**预期成果**

通过EEG，EMG，behaviour 数据对比近远端（FDI和BCP）肌肉在感知-决策-行动过程中的区别， 为新的决策模型提供见解。通过EMG数据可以计算出EMG onsite点，这个点被定义为最终动作的EMG开始点。利用这个点可以在时间尺度上更精确的分割决策时间和motor时间。且通过相同的算法可以计算出partial EMG burst的点，从而研究COMs发生的瞬间， 以及比较在不同肌肉下发生概率的不同。

主要的假设事FDI与BCP有不同的决策模式，其中BCP更接近与decision-then-action的顺序发生的过程，而FDI则更像decision with action feedback to decision的策略，即continues forward flow与 feedback loop同时对决策起作用。支撑这个假设的具体希望被观察到的实验细节为： 1. BCP的MT比FDI更快；2. BCP中不存在partial EMG brust ；3. FDI中根据对比度的减小，partial EMG出现的概率和数量会增加但时间上会延后； 4. 控制BCP与FDI的脑区有位置上的差异； 5. BCP与FDI PMT与MT的时间比例不同；5.模型中BCP由于motor preparation 引起的起始点与FDI不同（steinemann2018）

**方法**

**实验流程**

Prepare section

实验分为两天，第一天为训练组，第二天为记录组。准备阶段时间为15分钟（仅EMG），以及40分钟（EEG和EMG）。受试者会在实验前阅读并在第一天签署实验知情同意书。其中匿名记录年龄，肌肉长度，头围等生理信息，且使用爱丁堡惯用手问卷测试主要使用手。限制年龄在18-40周岁，且为右手使用者参与试验。EMG准备阶段会使用医用酒精清洁特定区域皮肤以及电极以降低阻抗，同时在自主控制肌肉时触诊以确定FDI与BCP肌肉位置。EEG准备阶段会根据头围选择合适的帽子且使用鼻骨-枕骨与双边耳骨起始处连线的交点，定位Cz为头顶中心， 同时确保所有阻抗在10K欧姆以下。

Training section

第一天练习阶段时间为40分钟。参与者首先将会学习如何控制他们的FDI肌肉与BCP肌肉。在记录放松状态下的EMG与最大舒适收缩时的EMG信号作为MVC最大值与最小值的标准后，在皮肤上非电极位置标记设备位置给第二天参考。20%MVC的肌肉激活被作为反应，且将会提供施加力反馈为频幕上显示进度条。参与者需要以最快的速度达到设定的力的阈值，但需要控制力度不能超过太多。训练会分为实时反馈和延时反馈两种，如字面意思，实时反馈时力的大小实时的显示为屏幕上的进度条，而延时反馈则在截至时间或应答被检测到后在屏幕上显示应答过程的回放。实验者会在约20分钟的时间里以一组实时反馈两组延时反馈的循环学习如何用他们的肌肉控制应答。一般循环3次，其中每组8个trial，即一个肌肉应答两次。

Figure xxx EMG feedback

然后参与者将会学习contrast discrimination task，利用他们所学到的肌肉应答方法来应答左右的决策。参与者将需要判断屏幕中闪烁圆形的条纹偏向于right tilted grating或left tilted grating中的一种。实验采用‘ready-steady-go’的设计。Trial开始时，参与者需要注视屏幕中心的黄点，此时屏幕中心显示interleaved grating，即无left/right tilted grating 倾向。0.6s后中心点变绿，意味着两种grating的对比度即将发生变化。中心点变绿后0.6秒开始出现0.8s到2.5s的取决于应答速度的对比度不同的左或者右的证据模式。在证据模式开始后在0.2s到1.8s内的特定肌肉反应被判定为应答，且在应答后证据会持续显示0.2s再消失（此0.2s不会超过2.5s deadline总和）。如应答太快，太慢或者用错肌肉时都会被记录且有不同的即时提示。训练阶段一般耗时20分钟，对比度会从0.4开始逐步降低到0.1以帮助受试者理解，每一次的降低对比度需参与者再更简单的对比度时准确率大于60%（预估70%为熟练后理想的正确率）。

Experiment section

第二天的实验主要用于收集实验验数据。根据第一天测试EMG电极的位置放置电极且使用第一天的EMG数据记录为最大值与最小值计算MVC。实验主要有四种实验条件：1）难易（0.14和0.07）两种对比度模式； 2）不同肌肉FDI与BCP的使用。肌肉力度的激活被设定为20%，但会随着实际激活灵敏度以5%为幅度调整。整个试验分为8个blocks，每个block间隔会强制参与者休息3分钟以消除肌肉，注意力以及眼睛的疲劳。每个block开始前会进行一组delay feedback的练习作为参与者控制肌肉力度的矫正以及对肌电界面灵敏度的调整。 每个block包含随机128个四种实验条件的等量trial。总数据收集阶段长度为85分钟。

**EEG方法（SSVEP,CPP,LRP, MB, NI modelling）**

**EMG方法 (ENV FzEn)**

**EOG 方法**