

APRENDIZAGEM MOTORA COMO UM PROBLEMA MAL-DEFINIDO

Koji CHOSHI*

RESUMO

A solução de problemas na aprendizagem motora apresenta as seguintes características: não possuem uma solução *a priori*, há várias soluções para o mesmo problema e as mudanças nas soluções são descontínuas. Isso torna a aprendizagem motora um problema mal-definido. A aprendizagem como um problema mal-definido têm três níveis numa organização hierárquica: controle por “feedback” negativo, controle adaptativo e auto-organizacional. Como as condições iniciais não são conhecidas, é importante adotar o pensamento de controle adaptativo na aprendizagem. Com esse “background” foi realizado um experimento com uma tarefa seriada de rastreamento com quatro medidas: respostas omissas (OR), respostas erradas (ER), repostas corretas (CR) e respostas antecipatórias (AR). Quando submetidos a uma perturbação que requeria adaptação, os sujeitos voltaram um nível na organização hierárquica, o que mostra a importância de investigar como a auto-referência ou restrição mental é utilizada.

UNITERMOS: Aprendizagem motora; Habilidade motora; Comportamento motor.

Agradeço o convite para participar do Seminário de Comportamento Motor. Peço desculpas por não falar Português, e vocês não entenderem Japonês, obviamente. Se essa situação, por um lado, tem um aspecto negativo, por outro lado, tem um aspecto positivo: depois da minha apresentação vocês podem fazer o comentário que quiserem, xingar até, pois não vai ter problema nenhum.

Eu pesquiso aprendizagem motora, e hoje pretendo abordar esse tema como um problema mal definido. Esse é um tema de característica futurística. Eu tenho o costume de acelerar a minha fala assim que começo, mas como o tradutor (Prof. Go Tani) também tem esse costume, vamos ver se nós nos coordenamos aqui.

A aprendizagem motora envolve mudanças estruturais e é sobre isso que começarei falando. Fundamentalmente, eu vejo quatro tipos de mudanças estruturais. No primeiro tipo, temos, num certo tempo t , uma estrutura numa

determinada situação. Com a passagem do tempo, há uma correspondência entre os elementos presentes na estrutura, sem nenhuma modificação. Exemplos desse tipo de estrutura são tratados na ciência clássica newtoniana e se manifestam nas concepções expressas no determinismo, na reversibilidade e nas leis naturais. Nesse tipo de estrutura é possível fazer uma previsão das condições futuras. Como não há mudanças estruturais com a passagem do tempo, esse tipo de modelo não é adequado para investigar o problema de aprendizagem.

No segundo tipo de mudança estrutural, há várias condições iniciais e, com a passagem do tempo, elas convergem para um ponto específico. Isso pode ser observado em sistemas fechados, onde há um equilíbrio termodinâmico. Como exemplo desse tipo de estrutura nós temos a corrosão, a fadiga, a doença, a morte, e assim por diante. Aqui há mudança estrutural com a passagem do tempo. Na fadiga, por exemplo,

* Faculdade de Artes e Ciências Integradas, Universidade de Hiroshima.

existem várias condições iniciais que determinam seu aparecimento, as quais acabam convergindo para um estado final que é o aparecimento da fadiga. Há um aumento de entropia, o que significa que a estrutura vai se desmantelando.

No terceiro tipo de estrutura, temos os sistemas abertos, isto é, sistemas distantes do equilíbrio termodinâmico. Existe uma certa coerência nas condições iniciais, mas com a passagem do tempo o sistema vai se bifurcando, se distribuindo. Há um processo de diferenciação, como se vê na aprendizagem motora, cuja implicação será caracterizar esse fenômeno como um problema mal-definido. Posteriormente, essa questão será abordada em mais detalhe. No momento, quero mostrar que a estrutura vai tendo bifurcações, num processo com crescente diferenciação.

Há ainda um quarto tipo de estrutura em que existem várias condições iniciais, seguidas de uma série de distribuições e bifurcações. Entretanto, não é possível prever qual o estado seguinte. Quando vamos estudar a aprendizagem motora tendo como pano de fundo um desses quatro modelos, verificamos que o primeiro é inadequado, pois nele não existem mudanças estruturais. O segundo modelo sempre permite a elaboração de previsões. Já no terceiro e quarto modelos não há possibilidade de se fazer previsões. Daqui para a frente vamos nos concentrar no estudo da aprendizagem motora, tomando por base o terceiro modelo.

Para falar que a aprendizagem motora envolve um problema mal-definido, seria mais fácil entender o que é um problema bem-definido. Um exemplo pode ser extraído da construção de um relógio. Quando se vai construir um relógio, os componentes, as fases e as relações já estão bem definidos, e podem ser declarados *a priori*. Portanto, independente das partes do relógio serem complexas ou simples, pode-se chegar ao mesmo produto. Já com relação aos problemas mal-definidos há normalmente três características básicas: a primeira é que não existe solução *a priori*, a segunda é que a solução do problema não é determinada de forma única, e a terceira é que as mudanças nas soluções são descontínuas.

Vocês imaginam o que seria uma solução em aprendizagem motora? Ou quais seriam as possíveis soluções durante a aprendizagem motora? Como surgem os seus dados quando vocês pesquisam sobre a aprendizagem motora: de forma

uniformizada ou de forma bastante irregular? Em razão dessas características dos problemas mal-definidos, o estudo da aprendizagem motora torna-se um assunto bastante complexo para ser investigado. Alguns exemplos desses problemas mal-definidos seriam a aprendizagem humana, a rede complexa de comunicação e os sistemas biológicos em geral. Algo do dia-a-dia que nos remete com facilidade para um problema mal-definido é a questão das mudanças na Bolsa de Valores: é extremamente difícil fazer uma previsão sobre o comportamento de seus índices.

Quando você quer estudar problemas mal-definidos, você acaba buscando transformar problemas mal-definidos em bem-definidos. Como não se entende bem as causas, busca-se o inverso, ou seja, parte-se dos efeitos, fazendo um estudo retrospectivo. A aprendizagem motora caracteriza-se por um tipo de solução denominada de inversa, pois tomando-se por base os efeitos, procura-se vasculhar as causas.

Na Ciência, nós fazemos exatamente o oposto. Avalia-se as causas e procura-se investigar os efeitos. Mas com problemas mal-definidos fazemos o inverso. Para ilustrar essa situação imagine o Sherlock Holmes investigando um de seus casos. O que ele tem inicialmente são fatos, com base nos quais ele constrói uma situação, e começa a envolver as pessoas nesse processo de busca, de compreensão de uma situação que ele imaginou a princípio. Então, ele tem os fatos e, ao relacioná-los, adota uma lógica de raciocínio, que o leva gradativamente a um resultado final. Isso nós chamamos de indução. Baseando-se nos fatos, ele tenta formalizar uma hipótese, e isso é muito importante na pesquisa em Aprendizagem Motora.

Então, na verdade, é muito difícil encontrar um culpado, e para ele não ficar se divertindo no meio de tantas possibilidades e combinações, ele tem que estabelecer algumas restrições, alguns "*constraints*". Por exemplo, nós temos um problema bem conhecido por todos vocês: o problema dos graus de liberdade nos movimentos. Quando o ser humano realiza movimentos, ele tem vários graus de liberdade em nível muscular, articular, e assim por diante. Existem atividades neurais intensas, que serão transferidas para o nível muscular e acabarão resultando, enfim, num movimento do corpo como um todo.

Como é conhecido, no movimento do braço nós temos sete graus de liberdade em nível articular. Considerando os grupos musculares atuando nesses graus de liberdade, o número aumenta para 30. Obviamente, se for considerado o nível neural e sua ligação com o sistema muscular, essa quantidade de graus de liberdade é praticamente incalculável. Dessa forma, se for realizada a análise de um movimento, começando do nível microscópico para o macroscópico, os graus de liberdade vão diminuindo. Se por acaso quiser se diminuir esse número de graus de liberdade, em qualquer nível, é necessário estabelecer-se restrições, “*constraints*”. Isso foi bem explicado por Bernstein quando ele falou de restrições no nível anatômico. Por exemplo, ao fazer alguns gestos manuais, eu tenho vários graus de liberdade a disposição, que precisam ser controlados. O problema é como conseguir fazer isso.

Quando eu flexiono o corpo para frente e o movimento é limitado, isso não é uma restrição, é uma restrição apenas em virtude da idade! Existem algumas situações em que é possível ilustrar bem a questão do controle dos graus de liberdade. Por exemplo, quando saltamos, as articulações automaticamente são controladas, ou melhor, são restringidas.

No caso de um arremesso do basquetebol, se você controlar apenas os graus de liberdade das grandes articulações, certamente vai errar o arremesso. Então, por exemplo, seguindo dos maiores para os menores, primeiro você controla os graus de liberdade da articulação coxo-femural, depois do joelho, e assim por diante; em seguida, você controla os graus de liberdade dos movimentos dos braços, e depois da articulação do punho. Portanto, de uma certa forma, ao restringir os graus de liberdade o seu movimento fica mais restrito. É por isso que em movimentos de basquetebol que exigem muita precisão, o controle mais refinado, na verdade, está sendo exercido sobre as menores articulações. Como você tem que controlar os graus de liberdade das grandes para as pequenas articulações, o arremesso “*jump*” normalmente é feito com salto: assim você restringe os movimentos das grandes articulações e pode preocupar-se apenas com o controle dos graus de liberdade das pequenas articulações.

Assim, na aprendizagem de um movimento complexo como o “*jump*”, a pessoa vai gradativamente aprendendo a controlar os graus de liberdade das grandes articulações para as

pequenas. Outro aspecto importante é que não se deve fazer confusão entre a flexibilidade das articulações trabalhadas em nível de Fisiologia e Educação Física e a flexibilidade referente aos graus de liberdade a que estamos nos referindo no presente momento.

Existem várias restrições nos níveis anatômico, fisiológico e biomecânico, mas o que vamos falar daqui para frente é sobre um tipo de restrição atuante no nível mental. Entendendo a aprendizagem como um processo de organização hierárquica. Para falar desse processo, eu proponho um modelo em três níveis. No nível mais básico, nós temos o tipo de controle por “*feedback*” cujo aspecto mais importante é a detecção e correção do erro. O que acontece nesse nível é que a função se estabiliza, se torna estável. A grande maioria dos pesquisadores em Aprendizagem Motora ainda se preocupa com esse nível. Portanto, mesmo com a aprendizagem sendo um problema mal-definido, você usa vários procedimentos para fazer o controle de variáveis, impor restrições, para, no final, chegar a uma certa solução mediante o controle dessas variáveis.

Mas existe um outro nível de controle muito importante em aprendizagem: é o controle adaptativo. Para falar desse nível podemos formular a seguinte questão: como é possível enfrentar e se adaptar a novas situações que exigem mudanças de parâmetros estruturais e flexibilidade do sistema? No Japão, comenta-se muito que os atletas japoneses não têm capacidade de adaptação. Quando eles vão para o exterior, eles enfrentam novas situações e acabam tendo uma grande queda em sua “*performance*”. Na última vez que eu vim, não consegui me adaptar a São Paulo. O que é importante no controle adaptativo é como você vai utilizar as habilidades adquiridas em um nível inferior, i.e., o do controle por “*feedback*”

Tendo como pano de fundo esse problema mal-definido, e uma vez que em aprendizagem motora não se tem as condições iniciais bem-definidas, você tem de transformar um problema mal-definido em bem-definido mediante o controle de variáveis. Como as condições iniciais não são conhecidas, existem modificações. Por isso é importante adotar o pensamento de controle adaptativo, que implica na necessidade de flexibilidade para fazer frente às modificações que porventura ocorram. Portanto, em aprendizagem motora é muito importante utilizar tarefas ou aparelhos que permitam a introdução de modificações durante o processo, a fim de que a

tarifa não se mantenha fixa do início ao fim. Assim, quando você utiliza um certo tipo de tarefa, estabelece um número de tentativas e estuda o que acontece nesse período, você não está estudando o controle adaptativo. Esse conceito de parâmetros estruturais talvez seja algo difícil de entender, mas nesse contexto pode-se ilustrá-los com os parâmetros do movimento, como força, velocidade e duração do movimento. O problema é quando mudam a direção e a força, por exemplo, como você se ajusta à essas alterações.

Quando se vai projetar um carro, o que se pensa inicialmente é fazer um carro bastante estável, ou seja, o pensamento básico é o controle de "feedback". Mas é interessante notar que, apesar de na construção eles se preocuparem com estabilidade, controle, e coisas do gênero, quando a qualidade do carro vai ser testada, ele é levado para o mato, neve, safari, ou seja, o carro é colocado nas condições mais instáveis possíveis para testar o que foi adquirido durante a estabilização. Portanto, o carro é considerado bom quando ele tem a capacidade de adaptação demonstrada nessas situações diversificadas. O ambiente estável para o qual ele foi projetado tem pouca importância.

O terceiro nível de aprendizagem é o mais complicado; eu o denomino de controle auto-organizacional. Nesse caso, a mudança envolvida não é nos parâmetros, mas na própria estrutura. Em termos de habilidade, isso implica utilizar uma maneira completamente diferente de executar os movimentos, tentando, com essas mudanças, buscar um menor gasto energético. Por exemplo, quando eu era criança, o salto em altura era feito juntando as duas pernas, depois começou o salto tesoura, e mais algum tempo depois, o salto de costas. Isso quer dizer que as mudanças não foram paramétricas, mas sim na própria estrutura do movimento. É muito importante ressaltar que quem descobriu essas novas maneiras foi o próprio atleta. Quando há essa mudança estrutural e você consegue executar os movimentos com habilidade superior, estamos falando de alto grau de adaptação.

Quando a Física e a Biologia utilizam o conceito de auto-organização, estão se referindo à mudança interna do sistema, independente do que ocorre no exterior. Mas como é difícil ocorrer aprendizagem sem que haja um estímulo, tenho certas dúvidas se a aprendizagem motora poderá ser considerada um sistema auto-organizacional. O importante nessa estrutura é que,

no que se refere ao controle entre os níveis, um nível inferior não poderá exercer controle sobre os níveis superiores. É sempre de cima para baixo, ou seja, o nível auto-organizacional poderá colocar controle no nível adaptativo e assim por diante. Mas como esse é apenas um modelo, vou mostrar alguns dados coletados.

Como o Natal está próximo, vou falar sobre um experimento em que acendem várias luzes. Essa é uma tarefa de rastreamento seriado. O fato dos estímulos virem em sequência, torna essa tarefa muito parecida com tarefas diárias. Nesse caso, o indivíduo tinha como meta elaborar uma sequência motora coordenada com a sequência de estímulos. O aparelho consiste de seis diodos-estímulos para os quais há um botão de resposta correspondente. O indivíduo deveria responder apertando o botão correspondente ao estímulo. Um fato observado na aprendizagem motora refere-se à queda de motivação quando se usa uma tarefa que submete os sujeitos a estímulos constantes. Mas nessa tarefa experimental a queda de motivação praticamente não acontece. Nesse equipamento é possível controlar a sequência dos estímulos e o intervalo entre eles. A partir do momento que eles começam a surgir, a pessoa deve reagir da forma mais rápida possível efetuando a resposta correspondente ao estímulo. Existem basicamente quatro tipos de respostas em nível qualitativo. A primeira é a resposta correta, na qual após o acendimento da luz referente ao estímulo 1 (S1), o sujeito deve apresentar a resposta 1 (R1). Outro tipo é a resposta antecipatória, em que o indivíduo apresenta, por exemplo, a R1 antes do S1. Isso significa que ele responde corretamente, mas antes que o estímulo esteja presente. Para atualização do processamento exigido na tarefa seriada, a antecipação é algo muito importante.

O conceito de antecipação não é tão fácil de explicar. Mas vejamos: se eu começar a bater na mesa de forma rítmica e solicitar que vocês façam o mesmo seguindo meu ritmo, vocês o farão sem muita dificuldade. Porém, se eu parar repentinamente, vocês continuarão com a mesma resposta por algum tempo. Essa capacidade é muito importante quando você quer estruturar uma tarefa a ser aprendida. O próximo tipo de resposta é a errada, quando para um estímulo S1 o indivíduo responde com R3, por exemplo. O quarto tipo de resposta é a omissa, ou seja, quando o estímulo é muito rápido e a pessoa nem consegue esboçar a resposta. Em pesquisa de aprendizagem motora é

muito comum falar-se de medidas quantitativas, mas em tarefas desse tipo as medidas qualitativas também são importantes. Então, o que vou fazer agora é mostrar alguns resultados obtidos com a utilização desse modelo.

Os primeiros resultados mostram a aquisição do primeiro nível de controle por “feedback”. Na fase inicial predominam as respostas omissas, depois as respostas erradas são maioria, seguidas das respostas corretas. Após 40 tentativas, as respostas antecipatórias já começam a aparecer. Gradativamente, os indivíduos antecipam não só os estímulos individuais, mas a própria seqüência. Proporcionalmente, há uma diminuição de respostas omissas e erradas, com gradativo aumento de respostas corretas e antecipatórias. Com a prática, as respostas corretas vão diminuindo, dando lugar às respostas antecipatórias. Quando o indivíduo começa a responder com respostas antecipatórias, ele demonstra entender a estrutura do padrão de estímulos, e nesse caso, o sistema como um todo torna-se mais redundante. Se analisarmos os dados do tempo de reação das respostas antecipatórias, os resultados também serão interessantes. O tempo de reação tende a diminuir, ou seja, os sujeitos respondem muito antes ou próximo ao surgimento do estímulo. Outro aspecto importante é o aumento da variabilidade dos tempos de reação das respostas antecipatórias. O interessante é que os indivíduos com maior variabilidade nesse tempo de reação adaptam-se melhor às mudanças na tarefa.

Portanto, na fase inicial da aprendizagem, as pessoas ainda não apreenderam a estrutura no padrão de estímulos. Uma vez que isso acontece, elas entram gradativamente num sistema antecipatório, alcançando uma super-aprendizagem. Com base nessa situação, vamos falar sobre o controle adaptativo.

Vamos ilustrá-lo com outro experimento. Ao final da primeira fase, mediante controle por “feedback” temos os três últimos blocos num conjunto de 30 tentativas. Nessa etapa já houve o aumento das respostas antecipatórias, mas há ainda a apresentação de respostas corretas. Para introduzir o sistema ao controle adaptativo, foi alterado um parâmetro estrutural. Nesse caso, a seqüência dos estímulos foi modificada. A ordem do último par de dígitos foi invertida. Proporcionalmente, houve uma diminuição de respostas antecipatórias, com manutenção de respostas corretas, mas houve também um aumento de respostas erradas. Trinta tentativas depois, no

entanto, o que se vê é o aumento das respostas antecipatórias. Pode-se observar então, que as fases finais do controle por “feedback” e do controle adaptativo têm uma certa semelhança. Numa visão macroscópica, o controle adaptativo continua como um circuito fechado.

A passagem da fase final do controle por “feedback” para o controle adaptativo é mais suave, por isso se diz que a pessoa tem maior adaptabilidade. Outro ponto interessante é que no controle por “feedback”, o elemento principal é o “feedback” negativo, pois se enfatiza detecção e correção de erro, mas no controle adaptativo o elemento principal passa a ser o “feedback” positivo. Acredito que as respostas antecipatórias têm um papel muito importante quando o tipo de “feedback” utilizado é o positivo. O mecanismo importante para entender o processo adaptativo é que há um sacrifício das respostas antecipatórias para o sujeito se adaptar às novas situações.

Gostaria agora de examinar como as respostas antecipatórias mudam qualitativamente no processo adaptativo. Aqui temos o tempo de reação para respostas antecipatórias, dividido em três grupos: o primeiro com uma seqüência correta com respostas antecipatórias; o segundo, quando a seqüência correta é realizada duas vezes com respostas antecipatórias; o terceiro, quando são feitas três seqüências com respostas antecipatórias. O intervalo inter-estímulos era de 500 ms nesse experimento. Então, é possível observar que quando as pessoas respondem antecipadamente à série completa, no começo a resposta antecipatória está em torno de 100 ms e aumenta até 200 ms (tempo de reação de respostas antecipatórias). Na verdade, a situação mais confortável para você responder dentro desse tipo de tarefa seriada com o intervalo inter-estímulos de 500 ms, seria em torno de 250 ms, mas há alguma alteração. Quando o sujeito tem um tempo de reação antecipatório mais próximo de 250 ms, ele está respondendo de uma forma que o tempo para o estímulo se aproxima de 250 ms, tendo então uma folga confortável para responder. A resposta antecipatória ocorre antes do estímulo surgir; assim, quando toda a seqüência é respondida uma ou duas vezes, interpretamos esse dado como indicativo de parâmetro de ordem. Como vocês sabem, o sistema antecipatório é um sistema instável.

Quando observo os motoristas paulistas aqui na Marginal de Pinheiros, trafegando em alta velocidade, é sinal que eles estão antecipando várias coisas, mas ainda assim trata-se

de um sistema instável. A resposta antecipatória é instável, mas tem uma qualidade muito importante: ela atua na estabilização do sistema. Se você quisesse medir o nível de habilidade do motorista, a resposta antecipatória seria uma boa medida. Isso porque se o indivíduo está respondendo antecipadamente, é sinal que existe uma certa folga para as respostas. Ele está correndo antes do estímulo. Em termos de aprendizagem motora, gradativamente começam a aumentar as respostas antecipatórias, mas se você quer se adaptar a novas situações de alguma forma, terá que sacrificar esse tipo de resposta.

Em outro experimento, procurei estudar os três níveis de controle: por “feedback”, adaptativo e auto-organizacional. Isso foi feito da seguinte forma: inicialmente o indivíduo deveria responder o mais rápido possível, e quando ele antecipava a resposta duas ou três vezes, a sequência automaticamente se modificava tanto o intervalo inter-estímulo como a própria sequência. Na fase de auto-organização, a pessoa deveria responder tudo antecipadamente, ou seja, tornar-se independente da sequência de estímulos.

A fase inicial apresentou o mesmo padrão já descrito. Na fase adaptativa, sacrifica-se completamente as respostas antecipatórias para manter respostas corretas, e com a repetição das tentativas começam a aparecer novamente as respostas antecipatórias. Na última fase, esperava-se que os indivíduos respondessem a toda a sequência de um modo totalmente diferente, pois foi solicitado que respondessem antecipadamente a todos os estímulos. Se fosse solicitado a eles que continuassem a responder de forma antecipatória a todos os estímulos, não teriam condições de falar sobre a reação dos sujeitos.

Por exemplo, vamos tomar o sistema de conhecimento de cada um de vocês. Os seus conhecimentos foram aumentando substancialmente, houve várias bifurcações e, hoje, são completamente diferentes. Portanto, não só em aprendizagem, mas em todos os processos de mudança existe o tipo de transição que é difícil de prever. Nessas condições, se você quer descobrir a solução, deve introduzir restrições para poder investigar o que ocorre. Esse é o quadro que, de certa forma, sintetiza os meus experimentos e informa as conclusões até então. Um conceito muito importante para explicar os resultados é o conceito de complementariedade. Em termos práticos, significa que quando se quer observar os

resultados, não se deve utilizar um único parâmetro de observação. Conforme observado nos dados anteriores, não se pode avaliar a aprendizagem motora somente por um tipo de resposta, mas também pela ordem como as respostas aparecem.

Fala-se que a aprendizagem é um processo e por isso as medidas devem representar esse processo. Se quisermos analisar o processo, é importante ter medidas complementares, pois a modificação na relação dessas medidas explica melhor o processo de aprendizagem. Retomando o que já foi apresentado, na fase inicial predominam as respostas omissas. Os indivíduos utilizam a auto-referência, que é o nível de consciência do sujeito, que tem uma característica circular de pensamento: quem responde de forma omissa fica se auto-referenciando. Ao observar esse tipo de resposta numa situação de ensino-aprendizagem, o professor fala “Tente, mesmo que erre”, subindo, assim, um nível na hierarquia. Embora o professor enfatize esse comportamento, como a resposta errada não é muito apreciada pela criança, torna-se difícil vencer a barreira das respostas omissas, mas o importante é tentar. É óbvio que ela fique omissa, pois não sabe qual é a resposta correta, mas o importante é que após fazer isso ela sobe um nível, passando para as respostas erradas. Quando as respostas erradas predominam, o professor requer do indivíduo respostas corretas, assim, o indivíduo vai para o nível acima, começando a circular no nível de respostas corretas.

Quando alguém abandona respostas erradas e vai para respostas corretas, temos a atuação de um controle via “feedback”. Mas como a situação de aprendizagem envolve novos desafios, o indivíduo tem que estar preparado e tentar subir mais um nível da hierarquia, passando a responder antecipadamente. Desse modo, a análise da aprendizagem motora dentro de uma mesma tarefa indica que o nível mais alto de comportamento adaptativo é o de respostas antecipatórias. Se o interesse é avaliar o nível de habilidade de um sujeito, o experimentador deve introduzir modificações na tarefa. Por exemplo, se o rebatedor do beisebol está esperando um arremesso cuja bola vem em linha reta, mas, de fato, a trajetória é em curva, ele tem de abandonar a rebatida para a bola em linha reta e tentar se adaptar com uma resposta mais adequada para a bola em curva. No caso de um rebatedor de beisebol que ainda não atingiu o nível de respostas antecipatórias, é interessante notar que se ele

estiver esperando um arremesso retilíneo e vem curvo, ele vai cair um nível, ou seja, ele irá responder de forma errada. Já para um sujeito que ainda está no nível de respostas erradas, a expectativa de um arremesso retilíneo diante de uma bola que vem em curva fará com que ele sequer esboce uma reação, ou seja, ele retorna para um nível inferior, o de respostas omissas.

Embora a aprendizagem progrida das respostas omissas para respostas antecipatórias, se forem introduzidas modificações, as pessoas sempre vão para um nível inferior, ou seja, quem está em respostas antecipatórias vai para respostas corretas, das corretas para as erradas, e assim por diante. O que eu tento investigar é em que nível de auto-referência as restrições são usadas. Embora existam restrições extrínsecas atuando no indivíduo, a aprendizagem motora implica restrições que são construídas internamente. Então, vamos abordar um pouco isso.

Vocês já devem conhecer muito bem experimentos com poli-ritmos. O ritmo do qual vou falar é bem simples, cuja frequência era transmitida ao indivíduo por meio de estímulos auditivos. O indivíduo deveria efetuar três batidas com a mão direita e duas com a mão esquerda. Logicamente, o sujeito vai tentar sincronizar as duas mãos. No início, ele bate com as duas mãos ao mesmo tempo, sem diferenciar o ritmo. Depois, bate direito-esquerdo, e depois os dois juntos, mas diferenciando o ritmo. Um aspecto importante dessa tarefa refere-se à ação de uma mão restringindo a outra, ou seja, mediante a relação entre direita-esquerda, o indivíduo constrói um padrão rítmico.

O que se vê na fase inicial da aprendizagem é que o indivíduo começa com qualquer ritmo e vai variando até alcançar o ritmo desejado, isto é, três batidas com a direita e duas com a esquerda. É possível verificar que a interação entre ambas as mãos constrói um padrão rítmico, e após várias tentativas ocorre a estabilização. Considerando os dados de um indivíduo, vemos um padrão de resposta interessante. Ele sempre optou pelo padrão 1 – 1 ou 2 – 2, e vai alternando esse padrão (de fazer as duas respostas mais fáceis) para no final começar a estabilizar no nível 2 – 3. Quando o sujeito opta por mão direita-mão esquerda, existe um entrelaçamento (“entrainment”) em que um lado acaba “puxando” esse padrão de ritmo. Um tipo de entrelaçamento é o forçado, e o outro tipo é o mútuo. Na relação 3 – 2, o 3 é o mais forte, por

isso se espera que ele force o entrelaçamento. Indivíduos com muita dificuldade de reproduzir padrões rítmicos acabam variando muito, apresentando padrões errados.

Seja na presença ou na ausência de estímulos, esse fenômeno do entrelaçamento merece muita investigação. Vejamos a árvore de Farey, onde está expressa a relação numerador/denominador. No início, a pessoa faz a relação 0/1, só com a mão direita, por exemplo. Caso se queira construir um padrão com as duas mãos, o que se faz é somar os dois denominadores. Quando se quer construir a relação 1/3, o que acontece é pegar a relação 0/1 e 1/2, somar o 0, 1 e 2 para construir o 3, e assim, elaborar padrões cada vez mais complexos. A tarefa anterior era 2/3, 2 com a esquerda e 3 com a direita. Na verdade, quanto mais você sobe na árvore de Farey, mais a tarefa se torna simples, pois o 0/1 é mais simples que 1/2, e o inverso acontece ao se descer na árvore, ou seja, o padrão rítmico se torna mais complexo. Atualmente, estou trabalhando com estímulo 3/5. É interessante que nas fases iniciais os indivíduos comecem no nível 1/2, depois 2/3 até chegar no 3/5, o que mostra o processo de entrelaçamento e como os padrões rítmicos complexos são construídos. Não se sabe claramente porque esse tipo de relação é construído. Mas o interessante é que conforme o padrão vai sendo construído, sempre se segue aproximadamente a mesma seqüência.

No início falei sobre o problema mal-definido, e para estudá-lo deve-se introduzir restrições anatômicas, depois mentais. Agora vamos falar sobre outro tipo de situação. Eu vou tentar passar para vocês o que um amigo meu está fazendo. Temos uma pessoa, um robô e a torre de um computador. A pessoa, quando anda, tem o seu ciclo de passadas processado por um computador. Ao mesmo tempo, um robô tem o seu ciclo de passadas e recebe informações sobre o ciclo apresentado pelo ser humano. O robô, mesmo tendo o seu ciclo de passadas, começa a interagir com as informações do ser humano, e ocorre um processo de adaptação do robô, mas controlável e introduzido de volta para o ser humano por meio de um fone de ouvido. Uma coisa interessante é que o ser humano começa a interagir com as informações do robô e constrói um novo ciclo de passadas. E se essa interação se repete, há a sincronização entre o robô e o indivíduo.

Outra coisa interessante é que, quando acontece a sincronização, há uma interação

em um nível afetivo. Os dois, homem e robô, interagem emocionalmente, como amigos. Isso é muito importante, pois antes de começar cada um tinha o seu critério de ritmo de passadas, mas essa interação não foi especificada e um estabelece restrições sobre o outro; no final, porém, chega-se a um estado de sincronização. Eu vejo esse tipo de interação como uma interação na representação de ambos. Até agora, nas pesquisas em aprendizagem motora, as restrições são colocadas pelo experimentador de fora para dentro. Entretanto, as restrições que surgem internamente são muito pouco investigadas. Julgo que esse é um aspecto fundamental a ser investigado em aprendizagem motora. Os dados que temos a respeito mostram que, no início, o robô e o ser humano são completamente diferentes no que diz respeito ao ciclo de passadas, mas depois da comunicação entre eles, ocorre uma modificação. Eu estou usando o conceito de coerência física para explicar esse fenômeno, ainda que eu esteja me referindo à

construção de restrições internas. O meu colega não é um especialista em aprendizagem motora, mas em engenharia. O seu trabalho está relacionado ao bem estar social do idoso. No Japão, está aumentando radicalmente o número de pessoas idosas que requerem cuidados. Isso leva a um investimento para a construção de robôs que tomem conta desses idosos. Um robô muito investigado é o que pode transportar os idosos da cama para o banho. Os que existem hoje ainda são bastante desajeitados. Estão estruturando um robô que modifique sua ação quando a pessoa solta um grito. O que está sendo investigado é como a sincronização pode ser melhorada. Espera-se que possam ser fabricados robôs mais carinhosos que a minha esposa. O que eu mais investigo hoje é como surgem, internamente, essas restrições que levam a um comportamento coerente.

A palestra ficou muito longa, mas eu agradeço a paciência de todos vocês.

ABSTRACT

MOTOR LEARNING AS AN ILL-POSED PROBLEM

Problem solving in motor learning presents the following features: there is no “a priori” solution; there are many solutions to the same problem and the changes in solutions are discontinuous. This makes motor learning as an ill-posed problem with three levels of hierarchical organization: negative “feedback” control; adaptive control and self-organization. Since initial conditions are not known, it's important to adopt adaptive control as a way of thinking in motor learning. With this background, an experiment was carried out using a serial tracking task with four measures: omission response, error response, correct response and anticipatory response. When the subjects were under perturbation, they returned one level in the hierarchical organization which shows the importance of investigating how self-reference or mental constraint are utilized.

UNITERMS: Motor learning; Motor skill; Motor behavior.

ENDEREÇO: Koji Choshi

Faculdade de Artes e Ciências Integradas

Universidade de Hiroshima

1 - 7 - 1, Kagamiyama,

Higashi – Hiroshima, Hiroshima 739-8521 - JAPÃO