

# O padrão do pular corda sob diferentes condições de informação sensorial

Wellington R. G. de Carvalho & Ana M. Pellegrini

Laboratório de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora - LABORDAM  
Depto de Educação Física  
Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, Brasil 13506-900.

## *Rope jumping pattern under different sensory information conditions*

**Abstract:** The present study examined the stability of rope jumping skill measured by relative phase under different available sensory information. Nine male and nine female university students were required to perform a sequence of rope jumping at different pacing frequencies (1.4, 1.6, and 1.8 Hz) and in two different conditions: a) rope was turned by the performer itself (haptic information available), and b) rope was turned by others (visual and auditory information available). Passive marks were fixed on the rope and on the hip, knee, and ankle joint for analysis of the dependent variables: height of the rope, height of the jump and discrete relative phase. The ANOVA results showed that for the height of the jump in the condition in which the performer turn the rope by itself, the mean and its variability (standard deviation) were both significantly smaller than when the rope was turned by others. In the condition where the rope was turned by others, the mean of the knee joint angle at 1.4 Hz was smaller than that of 1.6 Hz which, in turn, was smaller than that of 1.8 Hz. For the discrete relative phase, the results indicated smaller values when the performer turns the rope as compared with when others do it. Overall, the results suggested that the motor pattern for jumping the rope is more stable when the performer herself/himself turns the rope and consequently is able to use haptic information in order to control the motor action as opposed to when only visual and auditory information are available.

**Key Words:** Information, sensory-channel, stability, jump, relative phase.

### **Introdução**

A facilidade com que alguns executam algumas habilidades motoras encobre a dificuldade que temos em explicar como estas habilidades são executadas. Encontram-se neste caso o andar de bicicleta e o malabarismo com 3, 5 ou mais bolas. De modo geral, a execução destas habilidades requer um preciso acoplamento entre informação sensorial e ação motora.

Neste trabalho focalizaremos o pular corda que, dada sua complexidade, permite explorar o intrincado relacionamento entre a percepção e captação de informação sobre a trajetória da corda e o ato motor de saltar a corda quando de sua passagem junto ao solo. O sucesso na execução desta ação depende da coordenação neuromuscular responsável pelo padrão motor do saltar em perfeita sintonia com a informação sensorial disponível. O grau de dificuldade se amplia na medida em que esta habilidade é executada em seqüência, cada salto sobre a corda determinando o salto seguinte sobre a corda.

Os sistemas sensoriais, no seu conjunto, fornecem informação sobre a posição de segmentos corporais em relação uns aos outros e da posição do corpo em relação ao meio ambiente (Horak & MacPherson, 1996). Fornecem ainda informação sobre eventos, objetos no espaço e como atuar sobre ou como responder a estes objetos no espaço. Com base nestas informações, o sistema neuromotor ativa os músculos com o objetivo de alcançar a meta da tarefa. Para o sucesso na execução do pular corda é necessário coordenar e controlar os movimentos dos braços e das pernas e antecipar a passagem da corda sob os pés, iniciando o salto com alguma antecedência.

De modo geral, o pular corda é executado de duas formas: com o executante batendo a corda e com a corda sendo batida por outros. Estas duas formas de pular corda se diferenciam pela natureza da informação disponível para o controle da ação. Quando a corda é auto-controlada, o executante tem disponível a informação proprioceptiva da posição dos membros superiores no espaço complementada por informação háptica da posição da corda no espaço. Quando a corda é controlada por outrem,

informação sobre a posição da corda é obtida de forma exteroceptiva, ou seja informação disponível fora do corpo do indivíduo (Schmidt, 1993). Esse tipo de informação, captada principalmente pelo sistema visual, permite ao ser humano identificar a localização e forma de objetos e das superfícies no ambiente. Embora estas fontes de informação possam ser diferenciadas, Lee (1980) ressalta que para o controle de uma ação motora, há a necessidade de integrar tanto informação exteroceptiva quanto proprioceptiva, denominada de exproprioceptiva, pois assim, o executante obtém informação sobre as partes do corpo relativas umas às outras e em relação aos objetos e eventos no ambiente. Independentemente do tipo de informação envolvida, o mais importante é extrair do ambiente a informação que é relevante ou pertinente ao executante para desempenhar a ação motora pretendida (Gibson, 1979) e, neste caso, a disponibilidade de diferentes tipos de informação pode propiciar variadas condições de organização e controle das ações motoras.

A relação mútua entre o organismo e o ambiente, incluindo as propriedades físicas do meio às quais o organismo se adapta e as alterações no ambiente provenientes da ação do ser humano, constitui o que Gibson (1979) denominou de *affordances*. Esta relação permite ao organismo perceber qual comportamento pode ser estabelecido entre ele e o meio ambiente próximo (Michaels & Carello, 1981). Ajustes na trajetória da corda em função do salto e das características espaciais do salto em função da trajetória da corda ocorrem em sintonia ao longo do tempo. Assim, a reciprocidade no relacionamento entre informação e ação garante o acoplamento necessário para o sucesso na realização da tarefa.

Diversos estudos têm mostrado que a manipulação de objetos com diferentes distribuições de massa propicia informação sensorial suficiente para o executante identificar estas propriedades e organizar a ação motora (Carello, 2004; Carello; Thuot & Turvey, 2000; Turvey, 1996). Assim, o esforço muscular produzido para vencer e controlar a resistência inerente de um objeto em movimento é uma fonte de informação de extrema importância no controle de ações motoras executadas e que envolvem a manipulação de algum implemento ou acessório. De acordo com Hove e colaboradores (2006), o toque dinâmico (sistema háptico) propicia informação sobre a distribuição de massa do objeto manipulado pelo executante, permitindo a ele descobrir o que pode fazer com o objeto, ou ainda, o que o objeto permite que ele faça (*affordance*).

A informação sensorial obtida através do toque dinâmico permite que o sistema atue em um regime de controle do tipo *feedforward* (Horak & MacPherson, 1996). Neste caso, o mecanismo *feedforward* propicia ao organismo um controle antecipatório da ação motora que será executada, possibilitando assim que contrações musculares antecipatórias ocorram antes mesmo do início do ato motor propriamente dito. A coordenação e o controle de qualquer ação motora refletem, ainda, a interação entre forças musculares e não musculares que englobam o organismo, o ambiente e a tarefa a realizar (Newell, 1986). Isto significa que, entre o sistema muscular e o ambiente, existe uma relação que varia constantemente e para a execução da ação motora com sucesso ajustes devem ser feitos pelo executante.

A base desses ajustes não está somente no controle do sistema nervoso central, mas envolve também a coordenação e o controle de grupos musculares (Kugler, Kelso & Turvey, 1980, 1982). Para tanto, os subsistemas são funcionalmente organizados em estruturas coordenativas (Fitzpatrick, 1998), constituídas de grupos de músculos constantemente se estendendo sobre as articulações e que são limitados a agir como uma unidade funcional (Tuller, Turvey & Fitch, 1982). A força muscular gerada para a produção da ação motora é o produto da velocidade de contração e da força do músculo, sendo que a velocidade e a contração são influenciadas pelas propriedades intrínsecas do músculo (Neptune & Hautz, 2001). Em suma, ajustes no padrão de saltar em função das restrições impostas pela trajetória da corda e vice-versa estabelecem relação de mútua compatibilidade (Gibson, 1979; Newell, 1986).

Tendo em vista a natureza seqüencial da habilidade de pular corda, os sistemas sensoriais fornecem continuamente informação sobre o deslocamento do corpo e a trajetória da corda e a relação entre os dois é incorporada no processo de mudanças da atividade muscular apropriada para a realização da ação de pular corda seqüencialmente. Este fluxo constante de informação e atividade muscular correspondente forma o padrão denominado de ciclo percepção-ação (Schöner, 1991).

Desta forma, o pular corda é um caso particular de acoplamento percepção-ação, dada a interdependência contínua da trajetória da corda com a ação de pular a corda. Ainda, a informação da trajetória da corda disponível ao executante exerce uma força externa que pode alterar a dinâmica intrínseca do sistema (Schöner & Kelso, 1988b). Assim, o objetivo deste estudo foi analisar o padrão do pular corda em função da frequência da

corda e em função da mesma ser controlada pelo executante ou por outras pessoas. A hipótese principal foi que quando a corda é controlada pelo executante, informação sensorial adicional é disponível para regular a ação motora, quando comparada com a situação em que a corda é controlada por outrem.

## Método

### Participantes

Participaram do estudo 18 estudantes universitários, voluntários, sendo nove do gênero masculino e nove do gênero feminino, regularmente matriculados em curso de graduação em Educação Física, média de idade de 23,8 anos  $\pm$  1,25 mês, massa corporal 66,67  $\pm$  9,57 (kg) e estatura 1,71  $\pm$  0,09 (m). Todos os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido atendendo as normas do Conselho de Ética em Pesquisa da Instituição. O critério estabelecido para a participação no estudo foi que os estudantes não tivessem praticado anteriormente treinamento específico e/ou atividade esportiva que envolvesse a atividade de pular corda.

### Procedimentos

Para a coleta de dados, os participantes usaram calça de lycra e meias de cor preta e foram fixados na corda e no hemitórax do lado direito marcadores passivos (Zatsiorsky, 1998) na articulação do quadril (trocanter maior), na articulação do joelho (epicôndilo lateral do fêmur), e na articulação do tornozelo (maléolo lateral), definindo assim os segmentos coxa e perna. Os marcadores passivos eram esferas de isopor de cor branca de aproximadamente 2,5 centímetros de diâmetro para a corda e de aproximadamente 5,0 centímetros de diâmetro para as marcas no corpo do participante. Para registro do pular corda foram utilizadas três câmeras digitais de vídeo JVC (modelo gr-DVL 9800u) com frequência de 120Hz, fixadas em tripés, e quatro refletores de luz. Foi utilizado um calibrador contendo oito marcas referenciais e um metrônomo Quartz QT-3. A captura dos dados foi feita pelo software *Dvideow 4.0 (Digital Video for Biomechanics for Windows 32 bits)*, desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação para Biomecânica - Faculdade de Educação Física - FEF e pelo Instituto de Computação da Universidade de Campinas - UNICAMP (Barros; Brenzikofer; Leite & Figueroa; 1999).

A tarefa consistia em executar seis seqüências de 20 saltos consecutivos pulando a corda. As seqüências eram realizadas em duas condições (corda auto-controlada e corda externamente controlada), cada uma delas em três frequências (1,4, 1,6 e 1,8 Hz) impostas por um metrônomo digital sonoro localizado próximo ao local de execução da tarefa. Tanto para os batedores auxiliares como para os indivíduos que bateram a própria corda foi solicitado que sincronizassem o toque da corda no solo com o sinal do metrônomo. Os batedores auxiliares foram treinados com o objetivo de manter, para todos os participantes, as mesmas frequências de batida de corda especificadas para o presente estudo. A cada participante era dada a oportunidade de ouvir o metrônomo durante algum tempo e pular corda em seqüência até que se sentisse ajustado à frequência imposta. O sinal emitido pelo metrônomo era mantido durante todo o tempo em que a seqüência era executada.

Cuidado especial foi tomado com relação ao comprimento da corda, pois deformações na corda podem ocorrer quando o comprimento da mesma vai além do necessário para saltá-la com margem de segurança. Assim, o comprimento da corda de cada participante, quando auto-controlada, era proporcional à estatura do mesmo. Para tanto, era pedido aos mesmos que com os pés juntos pisassem no meio da corda segurando-a pelas extremidades junto às axilas. Na condição em que a corda era externamente controlada, o comprimento da corda batida pelos auxiliares, era de 3,5 m.

Entre as seqüências de saltos, um intervalo de aproximadamente dois minutos para descanso era dado de modo a evitar que o cansaço prejudicasse o desempenho dos participantes. A ordem das frequências em cada condição e a ordem das condições experimentais foram contrabalançadas entre os sujeitos. Para fins de análise da performance do pular corda foram utilizados, de cada participante, os dados de uma seqüência de seis saltos de cada uma das frequências em cada uma das condições.

Antes de iniciar cada sessão de coleta de dados, no local de execução da tarefa era posicionado um cubo de referência, também chamado de calibrador, que era então registrado em vídeo. O cubo de referência tinha 1,0m (altura) x 0,75m (comprimento) x 0,75m (profundidade) e os valores absolutos das coordenadas (em mm) correspondiam ao sistema de eixos cartesianos **x**, **y** e **z**. O sistema de referência utilizado neste estudo tinha o eixo "y" orientado no sentido vertical, o eixo "x" orientado no sentido horizontal e perpendicular ao eixo "y" e

o eixo “z”, definido pelo produto vetorial de “x” por “y” (Zatsiorsky, 1998).

Todos os participantes foram filmados a partir de uma vista lateral, no plano sagital. As filmagens foram realizadas nas dependências de um ginásio de prática desportiva. Nas paredes e no piso do local de filmagem foram colocados um fundo e forração de cor preta respectivamente para melhor contraste e visualização dos marcadores fixados nas articulações e na corda permitindo, sempre que possível, o uso do *tracking* semi-automático do *software* Dvideow (Barros, Brenzikofer, Leite & Figueroa, 1999) para captura dos dados. Duas câmeras (C1 e C2), cada uma de cada lado do executante, focalizavam apenas as marcas do quadril para baixo (3D) para a análise cinemática do saltar. Uma terceira câmera (C3) focalizava a ação como um todo, registrando os dados da trajetória da corda e do salto (2D) para análise da fase relativa.

#### *Tratamento dos Dados*

Quadros de uma seqüência de seis saltos foram capturados a partir do primeiro aumento no ângulo da articulação do joelho, ponto de máxima flexão no início da fase de impulsão para o salto. Através do *software* Dvideow, foi realizado o desentrelaçamento dos quadros das seqüências de imagens para a obtenção da freqüência de captura de 120 Hz (Barros, Brenzikofer, Leite & Figueroa, 1999). Para que as imagens capturadas pelas câmeras C1 e C2 fossem as mesmas, foi realizada a sincronização temporal dos quadros.

Os sinais das marcas foram medidos quadro a quadro em seqüência padronizada. Foram ainda digitalizados manualmente os oito pontos do cubo de referência tendo em vista a obtenção dos dados tridimensionais (3D) dos segmentos dos membros inferiores e, por último, os quatro pontos definidos para o calibrador, tendo em vista a obtenção dos dados bidimensionais (2D). Em seguida, os pontos medidos em *pixels* foram transformados em x, y, e z (coordenadas cartesianas) em milímetros, a partir da referência espacial com as posições absolutas conhecidas.

De posse da matriz de dados bidimensional (2D) obtivemos as coordenadas espaciais dos pontos  $X=X(t)$  e  $Y=Y(t)$ . A reconstrução tridimensional consistiu na obtenção das coordenadas espaciais dos pontos  $X=X(t)$ ,  $Y=Y(t)$  e  $Z=Z(t)$ , tendo sido utilizado o método de Transformação Linear Direta (*Direct Linear Transformation* - DLT), proposto por Abdel-Aziz e Karara (1971). Posteriormente, para separar os sinais dos ruídos e as possíveis discrepâncias dos valores das coordenadas

espaciais, o conjunto de dados obtidos no processo de medição foi suavizado através do filtro digital *Butterworth*, de quarta ordem, na freqüência de corte de 6Hz (Winter, 1990).

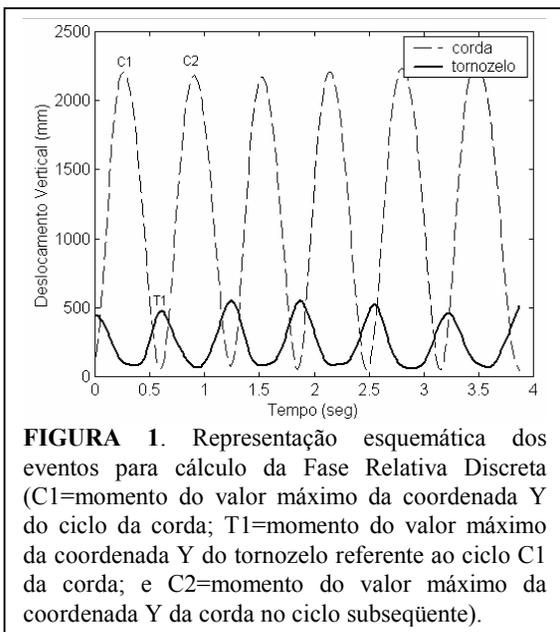
Os ângulos da articulação do joelho foram calculados com base nas marcas passivas fixadas nas articulações do quadril. O cálculo do ângulo da articulação do joelho foi feito com base no produto interno dos vetores dos segmentos corporais coxa e perna, normalizados. Para fins de análise, foi estabelecido que 180° correspondia ao momento em que as pernas do participante se encontravam completamente estendidas. Estes valores foram obtidos utilizando-se da função “dot”, em rotina disponível no *software* Matlab. De posse destes dados, foram calculadas as médias dos ângulos articulares (em graus) referentes ao quadro que registra a máxima flexão da articulação do joelho da fase de impulsão para o salto.

O relacionamento temporal entre o salto e a trajetória da corda foi analisado por meio da fase relativa discreta (FRD) em graus (°). No presente estudo, a fase relativa discreta foi definida como a diferença de fase entre dois sinais oscilatórios, ou seja, o ponto de adiantamento de um sinal em relação a outro dentro de um mesmo ciclo (Semjen, Summers & Cattaert, 1995). Em específico, a fase relativa discreta foi calculada usando as medidas dos valores máximos das coordenadas “Y” (eixo vertical) dos marcadores da corda e do tornozelo. A fase relativa discreta foi obtida com base no cálculo da diferença temporal entre o momento do valor máximo da marca do tornozelo e o momento do valor máximo da marca da corda no ciclo que antecede o salto. Este valor foi dividido pela diferença entre o momento do valor máximo da marca da corda do ciclo subsequente (C2) e o momento do valor máximo da marca da corda do mesmo ciclo (C1), e depois multiplicado por 360 para conversão dos valores da fase relativa em graus, conforme a fórmula:

$$FRD = \frac{T1 - C1}{C2 - C1} \times 360^\circ$$

Sendo FRD = Fase Relativa Discreta, em graus (°); C1 = momento do valor máximo da coordenada Y do ciclo da corda; T1 = momento do valor máximo da coordenada Y do tornozelo referente ao ciclo C1 da corda; e C2 = momento do valor máximo da coordenada Y da corda no ciclo subsequente. (ver Fig. 1 para uma ilustração dos componentes utilizados no cálculo da Fase Relativa Discreta).

Para análise da variabilidade da fase relativa discreta, isto é, a variabilidade da coordenação temporal salto-corda de cada condição experimental, foi calculado o desvio angular que é o desvio padrão da fase relativa dos seis saltos de cada indivíduo. A altura do salto foi obtida através do cálculo do ponto médio (em centímetros) entre a diferença da altura do marcador passivo, fixado na articulação do quadril (trocanter maior), tendo como referência o solo, momento em que o participante se encontrava com as pernas estendidas, e o ponto máximo de deslocamento vertical que essa marca atingia, tendo como referência a coordenada y, quando o participante se encontrava na fase de voo.



**FIGURA 1.** Representação esquemática dos eventos para cálculo da Fase Relativa Discreta (C1=momento do valor máximo da coordenada Y do ciclo da corda; T1=momento do valor máximo da coordenada Y do tornozelo referente ao ciclo C1 da corda; e C2=momento do valor máximo da coordenada Y da corda no ciclo subsequente).

*Análise estatística*

Foram feitas Análises de Variância com medidas repetidas para avaliar diferenças entre as condições (corda auto-controlada e corda sendo externamente controlada) e a frequência de batida da corda (1,4, 1,6 e 1,8 Hz). As variáveis dependentes foram as médias da altura do salto, do ângulo da articulação do joelho, da fase relativa discreta nos seis saltos consecutivos e o desvio angular (desvio padrão) da fase relativa discreta. O teste a posteriori utilizado foi o Tukey HSD com nível de significância de 0,05.

**Resultados**

Em primeiro lugar serão apresentados os resultados da frequência da corda observada uma vez que nas duas condições de batida da corda

(auto-controlada e externamente controlada) os executantes deveriam seguir as frequências de 1,4, 1,6 e 1,8 Hz determinadas pelo metrônomo. De modo geral, as frequências observadas foram acima das especificadas para o estudo, tanto na condição em que a corda era auto-controlada como na condição em que era externamente controlada. O Teste T *Student* indicou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre cada uma das frequências determinadas e a correspondente frequência observada. No entanto, nas duas condições, o intervalo de 0,2 Hz entre as frequências determinadas para este estudo foi próximo do intervalo entre as frequências observadas. Na Tabela 1 são apresentados as médias e desvios padrão das frequências impostas e as observadas nas duas condições de batida de corda. Os resultados que serão apresentados a seguir têm como referência as frequências determinadas para o estudo.

**TABELA 1.** Médias e desvios padrão (entre parênteses) das frequências (Hz) impostas e observadas nas condições da corda auto-controlada (CAC) e corda externamente controlada (CEC).

| Frequência Imposta | Frequência observada | Frequência observada |
|--------------------|----------------------|----------------------|
|                    | CAC                  | CEC                  |
| 1,4                | 1,5 (,03)            | 1,5 (,03)            |
| 1,6                | 1,8 (,06)            | 1,7 (,06)            |
| 1,8                | 2,0 (,07)            | 1,9 (,02)            |

*Altura do Salto*

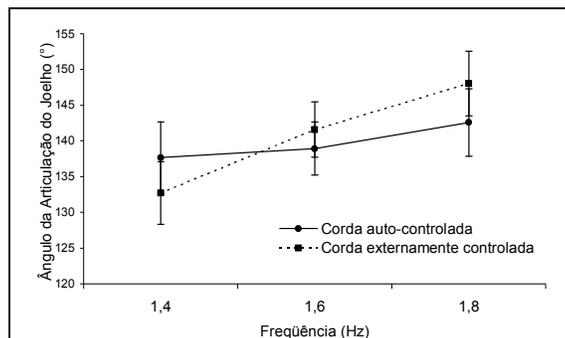
ANOVA indicou diferença significativa para os fatores principais condição,  $F(1,17)=22,34$ ,  $p < 0,01$ , e frequência,  $F(2,34)=6,20$ ,  $p < 0,01$ . Na condição em que a corda era auto-controlada, a média da altura do salto ( $12,30 \pm 0,95$  cm) foi menor do que na condição em que a corda era externamente controlada ( $15,46 \pm 1,52$  cm). Quanto à frequência de batida da corda, o teste a posteriori apontou não haver diferença significativa entre as médias da altura do salto entre as frequências de 1,4 ( $14,75 \pm 1,28$  cm) e 1,6 Hz ( $14,30 \pm 1,11$  cm). No entanto, as médias da altura do salto nestas duas frequências (1,4 e 1,6 Hz) eram maiores do que na frequência de 1,8 Hz ( $12,60 \pm 1,32$  cm). Em resumo, ao pular corda, ajustes na altura do salto ocorrem tanto em função do modo

como a corda é batida como em função da frequência da corda. Tal resultado nos levou a questionar se a variabilidade ao saltar se alteraria também em função de como a corda é batida e de acordo com o aumento da frequência da corda.

ANOVA, tendo o desvio padrão da altura do salto como variável dependente, indicou diferença significativa apenas para o fator principal condição,  $F(1,17)=13,29$ ,  $p<0,01$ . O desvio padrão foi maior na condição em que a corda foi batida por auxiliares (1,52 cm) do que quando o próprio executante batia a corda (0,95 cm). Este resultado indica maior estabilidade na altura do saltar quando o executante dispõe da informação sobre a trajetória proveniente de sua própria ação. No entanto, o aumento na frequência da batida da corda em nenhuma das duas condições teve influência na estabilidade (desvio padrão) da altura do salto ao pular corda.

### Ângulo da Articulação do Joelho

A Figura 2 apresenta o ângulo da articulação do joelho nas condições e frequências de batimento da corda. ANOVA indicou diferença significativa para o fator frequência,  $F(2,34)=16,86$ ,  $p<0,01$ , e para a interação entre condição e frequência,  $F(2,34)=6,63$ ,  $p<0,01$ . Na condição em que a corda era auto-controlada, nenhuma diferença significativa foi observada entre três frequências de batida de corda. Diferentemente, na condição em que a corda era externamente controlada, o ângulo da articulação do joelho na frequência 1,4 Hz foi menor nas frequências de 1,6 e 1,8 Hz. Ainda, o ângulo da articulação do joelho na frequência de 1,6 Hz foi menor que na frequência de 1,8 Hz.



**FIGURA 2:** Média e desvio padrão do ângulo da articulação do joelho (°) em função da frequência da corda e da condição de batida da corda (Corda auto-controlada e externamente controlada).

### Coordenação corda-salto

ANOVA, tendo a fase relativa discreta como variável dependente, apontou diferença significativa somente para o fator principal condição,  $F(1,17)=20,85$ ,  $p<0,001$ . A média da fase relativa discreta no pular corda com a mesma sendo auto-controlada ( $186,38^\circ$ ) foi menor que na condição em que a corda foi externamente controlada ( $215,21^\circ$ ). Este resultado indica que, independentemente da frequência da corda, maior proximidade temporal entre a corda e o salto ocorre quando a corda é batida pelo próprio executante.

### Estabilidade da coordenação corda-salto

ANOVA tendo o desvio angular como variável dependente apontou nenhuma diferença significativa para os fatores principais condição,  $F(1,17)=0,02$ ,  $p>0,05$ , frequência,  $F(2,34)=0,19$ ,  $p>0,05$ , assim como para a interação entre condição e frequência,  $F(2,34)=0,64$ ,  $p>0,05$ . Em suma, a estabilidade na coordenação corda-salto é bastante forte, não sendo alterada de modo significativo em função quer da frequência da corda, quer pelo modo como a corda é batida.

### Discussão

Foco central do presente estudo está na natureza da informação sobre a trajetória da corda disponível na ação de pular corda. Para tanto, duas condições envolvendo o bater a corda foram criadas. Pular corda batendo a mesma e pular corda quando batida por outros pode parecer, à primeira vista, uma mesma tarefa motora. Entretanto, uma análise mais cuidadosa e detalhada aponta para diferenças na relação executante-corda entre estas duas condições e sugerimos que estas diferenças seriam decorrentes da informação sobre a corda disponível ao executante. A partir dos resultados observados neste estudo, alguns aspectos necessitam ser discutidos.

O acréscimo de informação disponível sobre a trajetória da corda, proveniente do controle da corda pelo próprio executante, desempenha papel importante na realização do saltar. Quando os participantes exerciam controle sobre a batida da corda, eles saltavam mais baixo quando comparado com a condição em que a corda foi externamente controlada. Para tanto, os participantes podem ter utilizado a informação proveniente do manuseio da corda para obter informação sobre a trajetória da corda, provavelmente, com base no julgamento perceptivo do tamanho, forma e massa da corda (Gibson, 1966; Kandell & Jessell, 1991). Ao fazer a corda girar, o executante produz um conjunto de

movimentos com os braços e pulsos, enquanto mantém a corda segura nas mãos. Tais movimentos relembram a manipulação do taco de *hockey*, em que através do toque dinâmico o executante capta a informação pertinente ao controle motor da ação (Hove e colaboradores, 2006).

Na medida em que o executante é responsável pelo movimento da corda, ele provavelmente antecipa o momento em que a corda passará sob seus pés, diminuindo a altura do salto sem comprometer seu desempenho ao pular corda. Isto sugere que a informação da trajetória da corda, via sistema háptico, é utilizada para o controle da ação no mecanismo de *feedforward*, (Horak & MacPherson, 1996) e, portanto, de natureza antecipatória. Assim, quando o participante controlava a batida da corda, ele sabia qual seria a trajetória da mesma e quando ela estaria passando sob seus pés, permitindo a ele saltar com menor altura.

Situação oposta ocorre quando a corda é batida por outros. Neste caso, o executante não tem informação proveniente de seus próprios movimentos sobre a trajetória da corda, sendo que a decisão sobre a altura do salto deve ser feita com base na informação exteroceptiva, captada pela visão e/ou audição. A impossibilidade de antecipar a trajetória da corda leva o executante a buscar uma solução não tão eficiente, mas que garanta a ele a execução da ação motora com sucesso. Assim, a estratégia empregada foi saltar mais alto e pode ser considerada a melhor solução, na condição em que a corda é externamente controlada, pois o objetivo da tarefa foi alcançado.

Finalmente, a adoção de uma estratégia conservadora, quando a corda era manuseada por outros, foi dependente da frequência em que a corda foi batida. A flexão da articulação do joelho aumentou com o aumento da frequência do batimento da corda. Interessante notar que isso ocorre apenas quando a corda não é manuseada pelo executante. Assim, assumindo que o aumento da frequência do batimento da corda, implica em aumento na dificuldade de execução da tarefa, a margem de segurança quando informação háptica não está disponível aumenta com o aumento da dificuldade.

É importante também ressaltar que mudanças no ambiente alteram as características do comportamento motor com implicações na variabilidade do padrão motor apresentado (Fitzpatrick, 1998). Com a corda sendo externamente controlada houve maior variabilidade na altura do salto do que na condição da corda auto-controlada, sugerindo assim que a solução encontrada pelos participantes para executar a ação

motora com sucesso, quando a corda era externamente controlada, implicou não apenas em saltar mais alto, mas também em saltar com alturas mais variadas. Variabilidade é vista como uma característica da estabilidade do sistema, podendo indicar que quanto maior a variabilidade tanto maior será a instabilidade no sistema (Newell & Slifkin, 1998). A estabilidade do sistema é decorrente da informação comportamental disponível (Schöner & Kelso, 1988a) e, portanto, está diretamente relacionada com as restrições informacionais impostas pela tarefa. No caso do presente estudo, a informação adicional proveniente do manuseio da corda pelo executante, propiciou que o controle do sistema fosse mais estável do que quando a corda era manipulada externamente. Assim, informação adicional não apenas propiciou que o sistema apresentasse uma melhor eficiência (altura mais baixa do salto), mas também um comportamento mais estável no pular corda.

Além de propiciar uma menor flexão e variabilidade da articulação do joelho, na condição em que a corda foi auto-controlada, os executantes não precisaram saltar com antecedência em relação à posição da corda. Ao utilizarem a informação da trajetória da corda, obtida através do sistema háptico, os participantes reduziram a relação espaço-temporal (menores valores da fase relativa discreta) entre o momento do salto e a passagem da corda sob os pés, sem comprometerem o sucesso da ação de pular corda. Ainda, os valores da fase relativa observados neste estudo, na condição em que a corda era auto-controlada (186,38°), estão próximos dos valores observados (186,81°) em estudo anterior (Bueno, Carvalho & Pellegrini, 2003), indicando robustez no relacionamento entre a corda e a realização do salto nesta tarefa.

Surpreendentemente esta robustez despistou qualquer variabilidade no relacionamento entre a posição da corda e o salto, no presente estudo, para as duas condições de batida de corda (auto-controlada e externamente-controlada), não sendo observada qualquer alteração na variabilidade da fase relativa entre a corda e o salto mesmo variando a frequência do batimento da corda. Esse resultado não era inicialmente esperado, pois acreditávamos que quanto mais elevada fosse a frequência de batida da corda, independentemente da condição de batida de corda, os participantes apresentariam menor variabilidade. Tal expectativa decorre da característica cíclica da tarefa e da grande repetição da habilidade motora.

De forma geral, os resultados aqui observados indicam que o acoplamento percepção-ação no pular corda é bastante estável nas duas condições

de batida da corda e nas três frequências estudadas. Este resultado pode ser explicado devido à frequência de batida da corda não ter sido elevada o suficiente para conduzir o sistema a alcançar um ponto crítico, longe do equilíbrio, que o levaria a um outro estado de organização. O parâmetro de controle, frequência de batida da corda, não foi suficientemente desestabilizador para alterar os componentes que respondem pelas mudanças do sistema de um estado para outro. Assim, na mesma linha do que a literatura aponta (Haken, 1996), houve alterações no parâmetro de controle (frequência), mas não o suficiente para desestabilizar o sistema.

### Conclusão

O objetivo deste estudo foi analisar os ajustamentos no pular corda em função da frequência da corda (1,4, 1,6 e 1,8 Hz) e da informação sensorial disponível quando a corda é batida pelo executante e quando batida por outros. Dessa forma, pode-se observar que quando o próprio executante batia a corda, a informação sensorial obtida através do canal háptico forneceu informação do tipo *feedforward*. Isto indica que o contato das mãos com a corda produziu atividade de contração muscular antecipatória para produzir o deslocamento da corda em volta do corpo de modo que o executante sabia onde a corda estaria a cada momento de sua trajetória. Esta informação demonstrou ser de suma importância para o sucesso no desempenho desta tarefa motora. A informação do tipo *feedforward* parece ser o mecanismo que propiciou aos participantes controlarem a altura do salto. Esta informação captada principalmente pelo sistema háptico no toque dinâmico, forneceu os parâmetros para os ajustes necessários na antecipação do salto tendo em vista a passagem da trajetória da corda sob seus pés.

Outras pesquisas se fazem necessárias com diferentes métodos de análise para melhor entendimento da coordenação e do controle da execução da habilidade motora de pular corda. Sugerimos para futuros estudos a utilização de outras variáveis como a fase relativa contínua, força de reação do solo, estimativas de momentos de força articular, eletromiografia e outras, fornecendo outros parâmetros para o entendimento da relação percepção-ação envolvendo a habilidade motora pular corda.

### Referências

- Abdel-Aziz, Y. L. & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In: Proceedings of Aps/UI symposium on close range photogrammetry. *American Society of Photogrammetry*, 01-18.
- Barros, R. M. L.; Brenzikofer, R.; Leite, N. J. & Figueroa, P. (1999). Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. *Revista Brasileira de Engenharia Médica*, 15, 79-86.
- Bueno, F.C.R.; Carvalho, W.R.G. & Pellegrini, A.M. (2003). Rope jumping performance: variability as a function of rope frequency. In: Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Perception and Action - Volume 1. Gold Coast, 63.
- Carello, C. (2004). Perceiving affordances by dynamic touch: Hints from the control of movement. *Ecological Psychology*, 16, 31-36.
- Carello, C.; Thuot, S.; & Turvey, M. (2000). Aging and the perception of a racket's sweet spot. *Human Movement Science*, 19, 325-336.
- Fitzpatrick, P. (1988). Modeling coordination dynamics in development. In: K.L. Newell & P.C.M. Molenaar (Eds.), *Applications of Nonlinear Dynamics to Developmental Process Modeling*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gibson, J. J. (1979). *An Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Gibson, J.J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Haken, H. (1996). *Principles of Brain Functioning: A synergetic approach to brain activity behavior and cognition*. Berlin: Springer-Verlag.
- Horak, F.B. & MacPherson, J.M. (1996). Postural orientation and equilibrium. In: L.B. Rowell & J.T. Shepard (Eds.), *Handbook of Physiology* (pp.255-292). New York: Oxford University Press.
- Hove, P.; Riley, M.A. & Shockley, K. (2006). Perceiving affordances of hockey sticks by dynamic touch. *Ecological Psychology*, 18, 163-189.
- Kandel, E.R. & Jessell, T.M. (1991). Touch. In: E.R. Kandel, J.H. Schwartz & T.M. Jessell (Eds.), *Principles of Neural Science* (pp. 367-384). Norwalk: Appleton & Lange.
- Kugler, P.N.; Kelso, J.A.S. & Turvey, M.T. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. In: G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior* (pp. 3-47). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

- Kugler, P.N.; Kelso, J.A.S. & Turvey, M.T. (1982). On the control and co-ordinative of naturally developing systems. In: J.A.S. Kelso & J.E. Clark (Eds.), *The Development of Movement Control and Co-ordination* (pp.5-78). New York: John Wiley & Sons.
- Lee, D.N. (1980). Visuo-motor coordination in space-time. In: G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior* (pp. 281-295). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Michaels, C.F. & Carello, C. (1981). *Direct Perception*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Neptune, R.R. & Hautz, S.A. (2001). Muscle activation and deactivation dynamics: The governing properties in fast cyclical human movement performance? *Exercise Sports Science Review*, 29, 76-81.
- Newell, K.M. & Corcos, D.M. (1993). Issues in variability and motor control. In: K.M. Newell & D.M. Corcos (Eds.), *Variability and Motor Control* (pp.1-12), Champaign, IL: Human Kinetics.
- Newell, K.M. & Slifkin, A.B. (1998). The nature of movement variability. In: J.P. Piek (Ed.), *Motor Behavior and Human Skill* (pp.141-160). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Newell, K.M. (1996). Constraints on the development of coordination. In: M.G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of coordination and control* (pp. 341-360). Netherlands: Martinus Nijhoff.
- Pellegrini, A.M (2000). A aprendizagem de habilidades motoras I: o que muda com a prática? *Revista Paulista de Educação Física*, 3, 29-34.
- Schmidt, R.A. (1993). *Aprendizagem e Performance Motora: dos princípios à prática*. São Paulo: Movimento.
- Schöner, G. (1991). Dynamic theory of action-perception patterns: the “moving room” paradigm. *Biological Cybernetics*, 64, 455-462.
- Schöner, G. & Kelso, J.A.S. (1988a). Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. *Science*, 239, 1513-1520.
- Schöner, G. & Kelso, J.A.S. (1988b). A synergetic theory of environmentally-specified and learned patterns of movement coordination. *Biological Cybernetics*, 58, 71-80.
- Semjem, A., Summers, J.J. & Cattaert, D. (1995). Hand Coordination in bimanual circle drawing. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 21, 1139-1157.
- Tuller, B.; Turvey, M.T. & Fitch, H.L. (1982). The Bernstein perspective: II. The concept of muscle linkage or coordinative structure. In: J.A.S. Kelso (Ed.), *Human Motor Behavior: An introduction* (pp. 253-270). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Turvey, M. (1996). Dynamic Touch. *American Psychologist*, 51, 1134-1152.
- Williams, H. G. (1983). *Perceptual and Motor Development*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Winter, D.A. (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Zatsiorsky, V.M. (1998). *Kinematics of Human Motion*. Champaign, IL: Human Kinetics.

**Endereço para correspondência:**

Ana Maria Pellegrini  
 Laboratório de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora  
 Depto de Educação Física – UNESP  
 Av. 24-A, 1515 – Rio Claro – SP  
 15506-900  
 e-mail: anapell@rc.unesp.br

*Submetido: 18 de Outubro de 2006.*  
*Revisado: 07 de Novembro de 2006*  
*Aceito: 10 de Novembro de 2006.*