

2 - Análise de recorrência na coordenação intersegmentar durante auto passe de voleibol em crianças sob constrangimento da tarefa

Cátia Canas Santos, Cristiana Mercê, Marco Branco & David Catela

2.1. Introdução

2.1.1. Enquadramento

O desenvolvimento da coordenação motora resulta da interação entre constrangimentos intrínsecos e extrínsecos (Newell, 1986). Tendo em conta que o tipo de bola, considerado um constrangimento da tarefa (Gagen & Getchell, 2004), pode determinar a prestação motora, temos a intenção de verificar se alterar as propriedades do objeto (bola tradicional e balão) poderia proporcionar a coordenação entre as articulações do cotovelo e joelho no auto passe de voleibol.

A análise de recorrência (*RQA*) é uma técnica não linear, considerada como um instrumento poderoso e discriminatório, que proporciona objectividade em relação ao grau de determinismo, caracterização das mudanças do estado do sistema, e o grau de complexidade e/ou aleatoriedade do sistema (Zbilut, Thomasson, & Webber, 2002). Esse tipo de técnica permite-nos estudar sistemas dinâmicos e entender o seu comportamento (Webber & Zbilut, 2005). A *cross recurrence analysis*, uma extensão bivariada da análise de recorrências, que foi introduzido para analisar dois sistemas diferentes, comparando os seus estados, para verificar se os dois padrões de movimento funcionam de forma articulada entre si (Marwan, Romano, Thiel, & Kurths, 2007); no caso do nosso estudo permite-nos analisar se o joelho e cotovelo se moverão sincronizados.

A ideia básica da análise de recorrência é verificar no espaço reconstruído, num raio r , centrada num ponto x , qual o número de pontos que recorrem, no nosso caso, o número de vezes que cada amplitude articular volta a passar por determinado valor, ou um valor aproximado. Se esta distância é menor ou igual a r , os pontos são considerados recorrentes (Riley, Balasubramaniam, & Turvey, 1999). Estas técnicas não lineares e multidimensionais reconstroem pontos de recorrência ou dados de vizinhança de pontos. A proximidade dos pontos no espaço pode ser visualizada graficamente, num gráfico de recorrência, e o padrão

dessa recorrência pode ser quantificado em determinados parâmetros. A recorrência (%REC) é considerada como a tendência para o sistema voltar ao mesmo ponto, por sua vez a tendência para o sistema se comportar sempre do mesmo modo, indica o determinismo (%DET). Considera-se a linha média (*meanline*) como a estimativa da força da sistematicidade dos comportamentos, ou seja a média das linhas que representam a atração do sistema para aquele comportamento, e a linha máxima (*maxline*) permite medir a linha mais comprida (Webber & Zbilut, 2005). A entropia (*entropy*) estabelece a complexidade do sistema, uma vez que não é calculada em relação à totalidade das recorrências mas sim no que diz respeito às linhas diagonais que refletem a estrutura (Riley et al., 1999), e a entropia relativa (*relative entropy*) determina a constância do sistema, mais baixa mais regular é o sistema no seu comportamento.

2.1.2. Apresentação do problema

Reconhecendo-se a importância de conhecer as vantagens, de produto mas também de processo, ao propor este constrangimento da tarefa (Newell, 1986), mudança para uma bola mais lenta e maior que a tradicional, procedemos à análise cinemática de posição e velocidade dos segmentos corporais das crianças. Procurando responder à questão:

Alterar as propriedades do objeto (bola tradicional e balão) poderá proporcionar a coordenação entre as articulações do cotovelo e joelho no auto passe de voleibol?

2.1.3. Objetivo e hipótese

O objetivo deste estudo foi verificar se a utilização de um determinado material desportivo, bola tradicional ou balão, consegue estabelecer padrões motores mais estáveis.

Deste modo, pretendemos testar a seguinte hipótese:

H2: No auto passe, com a utilização do balão existe maior flexão-extensão dos membros inferiores.

Apresentando o balão velocidades de deslocação inferiores, espera-se que existam maiores possibilidades de interação dos três tipos de constrangimentos (Newell, 1986), logo maior coordenação e maior incidência de padrões motores estáveis (Branco et al., 2010). Desta forma, espera-se que a criança com mais tempo para realizar a sua execução motora, desenvolva padrões mais maduros e próximos do padrão esperado para as articulações do cotovelo e do joelho na tarefa de auto passe (Lemos, 2004; Pellett et al., 1994).

2.2. Métodos

2.2.1. Caracterização da amostra

A amostra foi constituída por 7 crianças, 5 rapazes e 2 raparigas, com 7,56 ($\pm 0,28$) anos de idade. Foi obtido consentimento informado dos encarregados de educação e assentimento das crianças.

2.2.2. Equipamentos e materiais

Foram utilizados os mesmos objetos elásticos e esféricos de diferente composição, peso e tamanho, descritos no estudo anterior “*Tipo de bola e prestação motora de crianças em habilidades motoras específicas*”, bem como 3 projetores, 3 camaras e 3 tripés. Foram utilizados 16 marcadores refletivos, 15 dos quais colocados em pontos anatómicos de referência da criança (figura 2.1.), e um como ponto fixo, presente em todas as tarefas, num local visível pelas 3 camaras. Foi ainda utilizado um cubo de calibração (figura 2.2.), com arestas de 1 metro de comprimento.

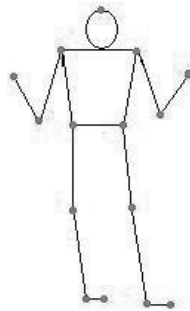


Figura 2.1. Marcadores refletivos localizados em pontos anatómicos.

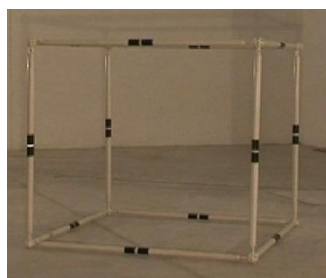


Figura 2.2. Cubo de Calibração.

2.2.3. Tarefas, procedimentos e protocolos

Cada criança procurou realizar o maior número de toques sucessivos, em 3 tentativas com diferentes tipos de bolas (bola tradicional e balão) em auto passe de voleibol. A prestação motora das crianças foi registada em vídeo (através de 3 câmaras de filmar) e foram obtidas as coordenadas, através de 15 marcadores refletivos (colocados em pontos de referência anatómicos) que possibilitaram a reconstrução tridimensional dos movimentos, com o programa *Ariel Performance Analysis System (APAS)*.

Considerou-se os seguintes critérios durante a captura e tratamento dos dados: i) do ensaio analisado: foram analisados apenas os primeiros ensaios em cada condição (bola e balão), visto ser evidente a influência imediata do objeto na execução motora; ii) de início da análise do ensaio: última *frame* de contacto da bola na mão da criança ao iniciar a tarefa, após ser fornecida a bola à criança; iii) de fim da análise do ensaio (2 critérios distintos): quando criança realizou menos de 10 toques sucessivos, foi considerada a primeira *frame* em que a bola contacta no chão ou em qualquer parte do corpo da criança, e quando a criança realizou mais do que 10 toques, consideramos 5 frames após a última *frame* onde existiu contacto da bola com a mão no 10.º toque; iv) de contacto (toque): o menor valor obtido na distância entre a posição da “bola” e do pulso da criança. Foi realizada análise do movimento (tratamento cinemático) através do sistema *APAS*, com filtro digital com um valor de corte de 5 Hz (suavização).

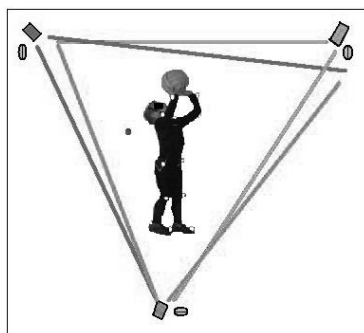


Figura 2.3. Recolha de dados: uma criança a realizar a tarefa de auto passe de voleibol; imagem captada pelas três câmaras de filmar.

O erro de medida relativo, associado ao próprio programa *APAS*, para os 3 eixos, foi o seguinte: $x = 2\%$; $y = 0\%$; $z = 0\%$. O erro de medida relativo intra observador foi o seguinte: $x = 9\%$; $y = 1\%$; $z = 6\%$ (Perini, Oliveira, Ornellas, & Oliveira, 2005).

Para cada conjunto de dados, em cada ensaio e cada criança, os seguintes critérios utilizados para a análise de recorrências foram: i) *Delay* - o primeiro mínimo em função de informação mútua das séries de tempo contínuo, foi seleccionado para minimizar a interacção entre os pontos da série de tempo medido; ii) *Embedding dimensions (M ou EMBED)* - aumento em valores inteiros até o recrutamento de mais vizinhos próximo torna-se inalterado, igual ou

mais próximo de zero; iii) *Ratio* - procurando manter a percentagem de recorrência (%REC) baixa (0,1 a 2%), decidimos usar o critério correspondente a um valor de %REC o mais próximo possível, assim sendo, foi selecionado por visualização gráfico da interceção próxima de 1% do valor recorrência (Webber & Zbilut, 2005).

Para a *cross recurrence analysis*, os seguintes critérios foram utilizados (Zbilut et al., 2002):

i) *Delay* - detetado visualmente o primeiro mínimo de auto correlação no gráfico de informação mútua (*AMI*); ii) *Embedding Dimensions* - detetado visualmente em falsos vizinhos mais próximos (*FNN*) através do gráfico, com o critério de *FNN* mais próximo de zero; iii) *Radius* - selecionado por interceção próxima de 1% do valor recorrência (visualização gráfica). Tem sido sugerido que uma *embedding dimension* de cinco é apropriado para capturar as dinâmicas de movimentos dos membros (e.g., Richardson, Lopresti-Goodman, Mancini, Kay, & Schmidt, 2008). Desta forma, os resultados da %REC analisados a seguir correspondem aos valores calculados com uma *embedding dimension* inferior ou igual a cinco. Quando o *delay* e o número de *embedding* não era igual nas duas articulações, foi considerado para o *delay* o maior valor e o valor mais baixo de *embedding* (e.g., Richardson et al., 2008).

2.2.4. Desenho experimental e limitações

Procedeu-se inicialmente a um estudo exploratório com apenas uma das crianças, onde se procurou identificar as fragilidades na utilização do programa *APAS*, ou nos critérios de análise das variáveis que pretendíamos analisar. Reajustando-se e reformulando-se esses critérios.

Procurando diminuir as limitações existentes, referidas no estudo anterior, foi pedido às crianças para evitarem a comunicação com outras crianças, precavendo a “contaminação da amostra”, através das medidas referidas no estudo anterior. As tarefas foram apresentadas de forma divertida.

Por vezes, a captação de imagens não é nítida, proveniente da deslocação rápida da criança, o que requereu aturada digitalização imagem a imagem.

Como os marcadores refletos foram colocados nos pontos anatómicos, mas sobre um fato preto que a criança vestiu, admitem-se pequenas alterações, não detetáveis, da posição dos marcadores.

Há sempre um erro de medida inerente ao próprio programa *APAS*, com o uso de três câmaras: dos *x* pontos no cubo de calibração, da sua medição, e o erro na marcação do ponto; do erro de marcação automática do programa; bem como do erro de marcação dos pontos pelo observador; e que foram os seguintes (tabela 2.1.):

Tabela 2.1. Erro de medida absoluto (mm) e relativo (%) do programa (APAS) e do observador.

Erro	Do programa (APAS)			Do observador (intraobservador)		
	Pé direito			Bola		
Ponto	X	Y	Z	X	Y	Z
Eixo						
Erro absoluto	0,94	0,25	0,71	18,07	4,09	8,96
Erro relativo	0,02	0,00	0,00	0,09	0,01	0,06

Por último e tal como no estudo anterior, não é possível separar a influência das variáveis peso e dimensão da bola, não sendo desta forma explícito se a alteração da prestação motora se deve à alteração de peso ou diâmetro no objeto, ou a ambos.

2.2.5. Variáveis e análise estatística

A variável independente são os objetos (bola, balão), que prevemos determinar mudanças no padrão de execução motora.

As variáveis dependentes são cinemáticas associadas à mobilização ou não de determinadas articulações (ângulo do cotovelo e ângulo do joelho), em determinados momentos do comportamento motor.

As variáveis de controlo são intencionalmente controladas, e neste estudo as nossas variáveis de controlo são a idade e a lateralidade.

Como variável fixa temos o género, porque já vem com a amostra, tendo-se verificado que não teve influência nos resultados.

Procurando melhorar a análise de interação entre variáveis independentes e dependentes, assumimos a variável de controlo ordem de apresentação das tarefas motoras - no estudo anterior, esta variável também não teve influência nos resultados.

Os dados foram tratados em *Excel* e programa *SPSS Statistics 20*.

Após realizada a confirmação da normalidade da distribuição dos dados, foi escolhido um teste paramétrico (*t-Test, Paired Samples*), nomeadamente para o ângulo do ombro, cotovelo e joelho nas tarefas de auto passe.

Foi usada uma probabilidade de erro de 0,05, bicaude.

2.3. Resultados

A %DET foi significativamente superior na condição balão que na condição bola ($Z = -2,20$, $p < 0,05$). Ou seja, a coordenação entre o cotovelo e o joelho foi mais determinística com balão que com bola.

Na maioria dos casos (5 em 7), a entropia é mais elevada com a utilização do balão que com bola tradicional, de modo que o sistema tende a ser mais complexo com o balão do que com a utilização da bola (tabela 2.2.).

Tabela 2.2. Resultados da *cross recurrence analysis*, nas condições bola e balão das 7 crianças.

Condição	Bola	Balão
<i>Delay</i>	8.71 ± 2.14	15.29 ± 5.42
<i>Embedding</i>	2.86 ± 0.38	3.86 ± 0.83
<i>Radius</i>	20.64 ± 3.09	25.36 ± 4.52
<i>%Rec</i>	0.93 ± 0.09	0.79 ± 0.13
<i>%Det</i>	68.01 ± 18.95	82.74 ± 3.97
<i>Entropia</i>	1.51 ± 0.33	1.70 ± 0.23
<i>Entropia Relativa</i>	0.70 ± 0.12	0.62 ± 0.07
<i>Maxline</i>	6.00 ± 2.16	7.86 ± 1.36
<i>Meanline</i>	2.73 ± 0.30	2.82 ± 0.26

A entropia relativa é era significativamente inferior na condição de balão ($Z = -2.00$, $p < .05$), indicando que a flexão e extensão do cotovelo e do joelho são mais regulares nas suas trajetórias espaciais na condição balão.

Na maioria dos casos (5 em 7), o balão proporciona uma *meanline* maior (com *maxline* também maior), de modo que o sistema tende a ser mais periódico na condição balão do que com bola tradicional.

2.4. Discussão

O sistema (coordenação articular do cotovelo e joelho) torna-se mais determinístico com a utilização do balão. Além disso, existe uma tendência geral para que a entropia seja maior com o balão, o que sugere que a coordenação entre as articulações do cotovelo e do joelho foi mais complexo quando as crianças executaram o auto passe com balão em comparação a bola tradicional. Este resultado pode dever-se, em parte, com a constatação de que as crianças usaram uma maior amplitude articular no cotovelo e no joelho, aquando do uso do balão.

A entropia relativa é mais baixa na condição balão, mostrando que o sistema é mais regular nas suas trajetórias espaciais. Esta constatação sugere que uma equivalência motora pode ter ocorrido (Kay, 1988), implicando que os graus de liberdade que eram mais frouxamente independentes (cotovelo e joelho) tornaram-se mais fortemente acoplados para formar uma sinergia (isto é, a coordenação de extensão e flexão de cotovelo e articulações do joelho).

A análise da coordenação interarticular na condição balão revelou uma tendência para um valor de *maxline* e *meanline* maior, comparativamente com a utilização de bola tradicional, apontando para o aumento da periodicidade espacial de flexão e extensão do cotovelo e do joelho. Essa tendência reforça ainda mais a hipótese do surgimento de uma sinergia interarticular, aquando do uso do balão.

2.5. Conclusões e recomendações

2.5.1. Conclusões

O sistema (coordenação das 2 articulações) é mais determinístico e periódico, mas também mais complexo, quando constrangido pelo balão, do que quando constrangido com bola tradicional. O sistema também se torna mais regular no espaço de fase (entropia relativa).

Assim, o uso do balão proporcionou uma auto-organização da coordenação entre articulações do joelho e do cotovelo na execução do auto passe.

A partir de uma visão baseada na aprendizagem motora aplicada, é interessante notar que as alterações na coordenação surgiram na ausência de instrução ou *feedback*. Os resultados sugerem que os treinadores e professores de educação física devem ser encorajados a explorar as possibilidades de manipulação dos constrangimentos da tarefa para melhorar a aprendizagem das crianças.

2.5.2. Recomendações para a prática e para estudos futuros

Por verificar ficou se a alteração da prestação motora da criança se deve à alteração de peso, diâmetro, ou ambos, no objeto. É natural que tendo o balão um maior diâmetro e uma deslocação mais lenta, a dificuldade da tarefa se torne menor (Fitts, 1954).

Se o impacto inicial de ajustamento dos constrangimentos da tarefa teve consequências significativas, a dificuldade imposta pela bola tradicional não desmobilizou as crianças. Os resultados deste estudo mostram que em contexto escolar é possível usar a manipulação das características físicas dos materiais para a prática motora, com vantagens para o sucesso na prestação motora e na articulação coordenada do cotovelo e do joelho, no entanto, a conservação de uma dificuldade diminuída das condições de prática pode levar a uma redução da sustentação dessa prestação motora.

2.6. Referências bibliográficas

- Branco, M., Catela, D., & Rocha, R. (2010). *Análise do Padrão de Marcha na Gravidez, no Âmbito do Comportamento Motor e da Biomecânica*. (Tese de Mestrado), Instituto Politécnico de Santarém, Rio Maior, Escola Superior de Desporto de Rio Maior, Rio Maior.
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), 381-391.
- Gagen, L., & Getchell, N. (2004). Combining Theory and Practice in the Gymnasium: "Constraint" Within an Ecological Perspective. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 75(05-06), 25-30.
- Lemos, A. S. (2004). *Voleibol Escolar*. Rio de Janeiro Sprint Ltda.
- Marwan, N., Romano, M. C., Thiel, M., & Kurths, J. (2007). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Recurrence plots for the analysis of complex systems*, 438, 237-329.
- Newell, Karl M. (1986). 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): Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Pellett, T. L., Henschel-Pellett, H. A., & Harrison, J. M. (1994). Influence of ball weight on junior high school girls' volleyball performance. *Perceptual and Motor Skills*, 78, 1379-1384.
- Perini, T. A., Oliveira, G. L., Ornellas, J. S., & Oliveira, F. P. (2005). Cálculo do erro técnico de medição em antropometria. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 11(1), 81-85.
- Richardson, M. J., Lopresti-Goodman, S., Mancinic, M., Kay, B., & Schmidt, R. C. (2008). Comparing the attractor strength of intra- and interpersonal interlimb coordination using cross-recurrence analysis. *Neuroscience Letters* 438, 340-345.
- Riley, M. A., Balasubramaniam, R., & Turvey, M. T. (1999). Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait and Posture* 9, 65-78.
- Webber, C. L., & Zbilut, J., P. (2005). *Recurrence Quantification Analysis of Nonlinear Dynamical Systems*. U.S.A.: Department of Physiology Loyola University Medical Center, Maywood, Illinois.
- Zbilut, J., P., Thomasson, N., & Webber, C. L. (2002). Recurrence quantification analysis as a tool for nonlinear exploration of nonstationary cardiac signals. *Medical Engineering & Physics*, 24, 53-60.

