

COORDENAÇÃO INTERSEGMENTAR EM ARREMESSOS COM DIFERENTES DEMANDAS DE PRECISÃO

Luis Augusto TEIXEIRA

RESUMO

Velocidade e precisão na produção de movimentos orientados à contatação de alvos físicos são duas variáveis cuja relação inversamente proporcional já é bem conhecida no controle de habilidades motoras. Neste estudo foi investigado se o mesmo fenômeno ocorre na produção de movimentos balísticos mais complexos, em que o alvo espaço-temporal a ser atingido pela mão é virtual. Além disso, foi verificado se a alteração da demanda de precisão tem implicações para o número de graus de liberdade utilizados no controle do movimento. Em um delineamento experimental de grupo único, sete sujeitos arremessaram bolas de tênis de mesa à alvos circulares de diferentes tamanhos (10, 30 e 60 cm de diâmetro), dispostos a 1,50 m de distância, procurando empregar o máximo de potência sem que isso levasse a erros de desempenho. Os movimentos foram registrados através de um sistema optoeletrônico (OPTOTRAK), empregando-se marcadores ativos nas articulações do quadril, ombro, cotovelo e punho. A partir do registro dinâmico destes marcadores, diversas variáveis cinemáticas foram analisadas. Os resultados mostraram um modo singular de coordenação intersegmentar entre os sujeitos, com o quadril tendo um papel passivo na execução do movimento, desde que o hemiquadril direito foi projetado para trás a partir do momento em que o braço começava a ser estendido para frente. Não foram encontradas diferenças no modo de execução do movimento para alvos de diferentes tamanhos, o que sugere que mesmo sujeitos habilidosos em arremesso necessitam de um processo de aprendizagem para adaptar-se à exigências particulares na sua execução.

UNITERMOS: Controle motor; Coordenação intersegmentar; Movimentos balísticos; Arremesso.

INTRODUÇÃO

O controle de movimentos balísticos orientados à contatação de alvos espaciais é organizado sob a relação inversamente proporcional entre velocidade e precisão, a qual é caracterizada pelo aumento de precisão quando a velocidade de movimento é reduzida assim como por uma redução da precisão quando o movimento é realizado em velocidades mais altas. Esta relação foi inicialmente modelada por Fitts (1954) a partir de uma série de movimentos manipulando o tamanho do alvo e amplitude de movimento, em tarefas motoras tais como contatações alternadas em dois alvos, e transferência de pequenos discos ou pinos entre dois quadros. A partir dos resultados do desempenho nestas tarefas foi mostrado que o tempo de movimento é uma função linear do índice de dificuldade do movimento, este último sendo definido como o logaritmo (na base 2) do dobro da amplitude do movimento dividido pela largura do alvo, o que tem sido chamado de Lei de Fitts. Essa relação linear entre tempo de movimento e índice de dificuldade tem sido observada em diferentes tarefas motoras envolvendo contatação balística de alvo físico (Fitts & Peterson, 1964; MacKenzie, Marteniuk, Dugas, Liske & Eickmeier, 1987; Marteniuk, MacKenzie, Jeannerod, Athenes &

* Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

Dugas, 1987) ou alvo apresentado via monitor (Graham, 1996), assim como em tarefas de agarrar (Bootsma, Marteniuk, MacKenzie & Zaal, 1994).

Particularmente MacKenzie et alii (1987) mostraram que a redução do tamanho do alvo produz aumento do tempo de movimento por antecipar o pico de velocidade, fazendo com que a fase de desaceleração seja aumentada em relação à alvos maiores. A utilização de tal estratégia de controle motor, reduzindo a velocidade de deslocamento na fase antecedente ao contato mão-alvo, tem duas vantagens em termos de aumento de precisão. Em primeiro lugar, movimentos mais lentos produzem menor ruído neural (Meyer, Abrams, Kornblum, Wright & Smith, 1988; Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank & Quinn, 1979), que é o subproduto da estimulação nervosa endereçada à musculatura atuante no movimento, produzindo variabilidade de resposta e conseqüentemente maior quantidade de erros. Em segundo lugar, um tempo de movimento mais longo possibilita maior número de correções através de processamento de "feedback" visual e proprioceptivo. Para ambos os fatores, diminuição de erro de desempenho é o resultado esperado quando a velocidade de movimento é reduzida, o que é de extrema importância quando se trata de movimentos orientados a um alvo de dimensões reduzidas.

Esta relação inversamente proporcional entre velocidade de movimento e demanda de precisão tem sido testada em tarefas balísticas em que a mão de execução termina o movimento contatando o alvo desejado. Dessa forma, pode-se fazer uma generalização relativamente segura para outras tarefas mais complexas que requeiram a contatação de alvos fixos ou móveis utilizando-se movimentos bastante rápidos, tais como golpear uma bola de golfe, sacar em um jogo de voleibol, ou rebater uma bola durante uma partida de tênis. Existem outras tarefas, entretanto, que requerem velocidade e precisão, mas que o alvo a ser atingido não é contatado diretamente pelo executante e sim por um implemento lançado por ele, como em tarefas de arremesso a um alvo. Nesta tarefa motora o alvo físico é remoto. Assim, existe uma área bastante restrita (menor que o tamanho do próprio alvo) em que a bola tem que ser liberada pela mão a fim de que ela seja endereçada na direção correta. Além da liberação da bola na posição correta, também há uma restrição temporal bastante rigorosa (cf. Hore, Watts, Martin & Miller, 1995; Hore, Watts & Tweed, 1994), correspondente à janela temporal apropriada para a soltura da bola. Em conjunto, essas restrições espaço-temporais constituem um alvo virtual que precisa ser respeitado a fim de que o alvo físico remoto seja atingido pelo implemento lançado.

A partir destas considerações, este estudo teve como objetivo verificar se o fenômeno de inversão entre velocidade e precisão, observado em tarefas motoras mais simples (isto é, envolvendo a participação de um número menor de graus de liberdade) de contatação de alvo, também ocorre em uma tarefa motora mais complexa de arremessar uma bola a um alvo fixo. Uma vez que o ato de arremessar envolve não apenas a ação do braço, mas também conta com a participação de movimentos do tronco, foi também de interesse neste estudo verificar o modo de coordenação frente a diferentes demandas de precisão nesta ação motora. Considerando-se que movimentos mais precisos requerem menor variabilidade, foi hipotetizado que em arremessos à alvos menores o tronco teria menor participação na propulsão da bola, assumindo o papel de estabilizador para o movimento do braço, enquanto que para alvos maiores o sistema sensorio-motor era esperado fazer uso dos graus de liberdade disponíveis, recrutando a participação do tronco para auxiliar na propulsão da bola. Como em tarefas motoras complexas os ajustes podem ocorrer não apenas de forma localizada no segmento motor principal, mas também através de mudança no modo de coordenação entre diferentes segmentos corporais que compõem a sinergia, diversas variáveis cinemáticas relacionadas aos movimentos de tronco e braço de execução foram analisadas.

MÉTODOS

Sujeitos

Sete estudantes universitários destros de ambos os sexos, na faixa etária entre 21 e 41 anos ($M = 25$), participaram voluntariamente como sujeitos do estudo. Todos assinaram um formulário de consentimento antes do início do experimento de acordo com as normas do Comitê de Ética da Universidade Simon Fraser (Canadá), e receberam uma gratificação de \$ 10,00 por sua participação.

Aparelho e tarefa

A tarefa experimental consistiu em arremessar uma bola de tênis de mesa para um de três alvos circulares concêntricos, orientados verticalmente à frente da posição de arremesso. Os sujeitos foram orientados a tentar atingir o alvo designado o mais fortemente possível, cometendo o mínimo de erros. Os alvos consistiam em aros de madeira de 10, 30 e 60 cm de diâmetro, recobertos com fita adesiva preta, e fixados uns aos outros com fios de arame flexível. Estes alvos foram colocados à 1,50 m do pé dianteiro do sujeito, aproximadamente à altura de seus ombros. Fixado às bordas de cada alvo havia uma peça de tule colorido, que servia para coletar as bolas arremessadas. O conjunto de alvos foi pendurado no teto da sala de coleta de dados através de dois cordões, e teve sua posição estabilizada por um terceiro cordão que tinha uma de suas extremidades presa à porção inferior dos alvos e a outra fixada ao chão abaixo dos alvos, o que reduzia as oscilações após o impacto das bolas arremessadas.

Para arremessar as bolas de tênis de mesa aos alvos os sujeitos utilizaram apenas o braço direito, empregando um padrão de movimento similar ao arremesso de dardos de precisão. Isto é, com a bola segura entre os dedos indicador, polegar e médio, faziam uma flexão preparatória do cotovelo seguida de uma extensão vigorosa para impulsão da bola, mantendo sempre o braço de execução à frente do tronco. Este movimento era feito com os sujeitos em pé, de frente para o alvo, com seus pés posicionados em locais fixos marcados no solo, mantendo o pé direito à frente do esquerdo. O sistema optoeletrônico OPTOTRAK (Northern Digital Inc., Waterloo, Ontario) foi usado para registro cinemático do movimento, com suas três câmeras registrando automaticamente a posição dos marcadores ao longo do tempo. A indicação da posição dos segmentos corporais selecionados para análise foi feita por diodos emissores de luz infra-vermelha (DELS), os quais foram fixados sobre os seguintes pontos anatômicos: a) quadril (aproximadamente sobre a crista ilíaca); b) ombro (aproximadamente 2 cm abaixo do acrômio); c) cotovelo (aproximadamente 3 cm acima do olécrano¹); e d) punho (sobre o processo estilóide da ulna). Como as câmeras possuíam uma relação fixa de posicionamento entre si, estando dispostas em um monobloco com pequena distância entre elas, o conjunto foi posicionado acima e do lado direito do sujeito, maximizando o potencial de leitura dos marcadores. A variação de posição dos DELs ao longo do eixo temporal foi registrada com uma frequência de leitura de 200 Hz, e os dados originais filtrados com um filtro digital Butterworth de segunda ordem a uma frequência de 7 Hz.

Delineamento do estudo e procedimentos

Foi empregado um delineamento de grupo único, com a seqüência de alvos contrabalançada entre os sujeitos. Cada sujeito realizou séries seguidas de tentativas (aproximadamente 7 s de intervalo intertentativas²) para cada alvo, em que deveria completar um conjunto de 15 arremessos bem-sucedidos, isto é, inserindo a bola dentro da área delimitada pelo alvo designado ou contatando a borda deste alvo. Nos casos de ocorrência de arremessos malsucedidos a série de arremessos era aumentada até que a seqüência de 15 acertos fosse completada. Entre as séries de tentativas para cada alvo foi dado um intervalo de repouso de 1 min, período em que os sujeitos ficavam com o braço ativo relaxado.

O experimento teve início com a leitura por parte dos sujeitos de um folheto informativo sobre os procedimentos a que seriam submetidos, e assinatura do formulário de consentimento. Em seguida os sujeitos procederam à atividades de aquecimento específicas para o movimento de arremesso, a fim de preparar devidamente os músculos do tronco e do braço para os movimentos vigorosos que seriam feitos a seguir. Completado o aquecimento, os marcadores ativos (DELS) foram fixados nos pontos anatômicos apropriados, através de massa ou fita adesiva. Os marcadores do punho, cotovelo e ombro foram fixados diretamente sobre a pele dos sujeitos, enquanto que o marcador do quadril foi fixado em um cinto passando sobre o ponto desejado.

Antes de iniciar as tentativas válidas para registro, foi enfatizado o objetivo principal da tarefa motora, isto é, atingir o alvo designado com a máxima potência possível sem que houvesse ocorrência de erros. Posteriormente, foram realizadas quatro séries de cinco tentativas alternadamente para os alvos pequeno e grande, iniciando pelo primeiro, com o objetivo de familiarizar o sujeito às tarefas com demandas de precisão mais diferenciadas. O registro cinemático e da frequência de acertos foram feitos nas tentativas seguintes, através das séries seguidas de tentativas para o alvo indicado.

Para cada tentativa, em resposta ao comando “pronto” os sujeitos elevavam seu braço de execução até um ponto próximo à posição preferida para iniciar o movimento de arremesso, porém mantendo o cotovelo um pouco mais estendido em relação à esta posição ótima. Com a emissão de um comando verbal dado pelo experimentador, o sujeito fazia um movimento contínuo de flexão e extensão do braço de execução para arremessar a bola ao alvo designado. Este procedimento tornou possível uma distinção clara do momento de início do movimento, variável necessária para se calcular os marcos cinemáticos relacionados ao tempo.

Foram dadas instruções adicionais para que os sujeitos mantivessem o braço de execução relaxado entre as tentativas, a fim de prevenir fadiga nas tentativas finais do experimento. Foi também solicitado que fizessem o movimento de arremesso com o mínimo de rotações do braço, a fim de que as câmeras não perdessem o registro dos DELs.

Análise dos dados

Para verificar se houveram ajustes de velocidade na execução do movimento em função do tamanho do alvo, assim como alteração no modo de coordenação, as seguintes variáveis foram selecionadas para análise: a) tempo de movimento, determinado pelo intervalo temporal entre os picos positivo e negativo da velocidade linear do punho; b) pico de velocidade linear do punho; c) proporção de tempo para se atingir o pico de velocidade linear do punho; d) pico de velocidade angular do cotovelo, determinado pela variação da velocidade do ângulo formado pelos marcadores dispostos no ombro, cotovelo (eixo) e punho; e) amplitude de movimento, determinada pela diferença entre os picos positivo e negativo do deslocamento linear do punho; f) deslocamento linear do quadril; e g) deslocamento linear do ombro. Essas variáveis foram analisadas em função do deslocamento no eixo principal do movimento (horizontal).

RESULTADOS

A análise dos resultados foi conduzida através de análises de variância de um fator para medidas repetidas, comparando-se o desempenho entre os três alvos para cada uma das variáveis selecionadas. Estas análises mostraram que as características cinemáticas de movimentos realizados para atingir alvos de diferentes tamanhos foram bastante semelhantes, desde que nenhuma diferença significativa foi encontrada nestas comparações. Os resultados destas análises estão expostos na TABELA 1.

A similaridade da forma de execução dos arremessos à alvos de diferentes tamanhos refletiu em diferentes freqüências de acerto [$F(2,18) = 16,02$, $p < 0,0001$]. Os contrastes realizados através dos procedimentos de Newman-Keuls indicaram maior proporção de erros na condição de alvo pequeno em relação aos outros dois tamanhos de alvo, os quais não diferiram entre si (FIGURA 1).

TABELA 1 - Médias e desvios padrão (entre parêntesis) para as variáveis cinemáticas analisadas, em função do tamanho do alvo; valores observados de F, como resultado da análise de variância, são apresentados na coluna da direita.

	Tamanho dos alvos			F(2,12)
	Pequeno	Médio	Grande	
Tempo de movimento (ms)	197,74 (42,51)	179,97 (25,50)	191,14 (37,96)	1,57
Pico vel. lin. punho (cm/s)	412,62 (59,61)	425,85 (63,20)	414,08 (69,40)	0,76
Pico vel. ang. cotov. (rad/s)	19,16 (3,69)	19,99 (1,92)	18,87 (2,41)	0,95
Amplitude de movimento (cm)	41,14 (6,55)	41,63 (7,16)	41,04 (8,12)	0,28
Desloc. lin. quadril (cm)	4,23 (1,72)	4,14 (1,17)	4,09 (1,36)	0,10
Desloc. lin. ombro (cm)	12,98 (5,62)	12,26 (4,05)	11,81 (4,50)	2,66
Tempo pico vel. punho (%)	57,79 (4,35)	57,43 (4,47)	57,64 (5,36)	0,09

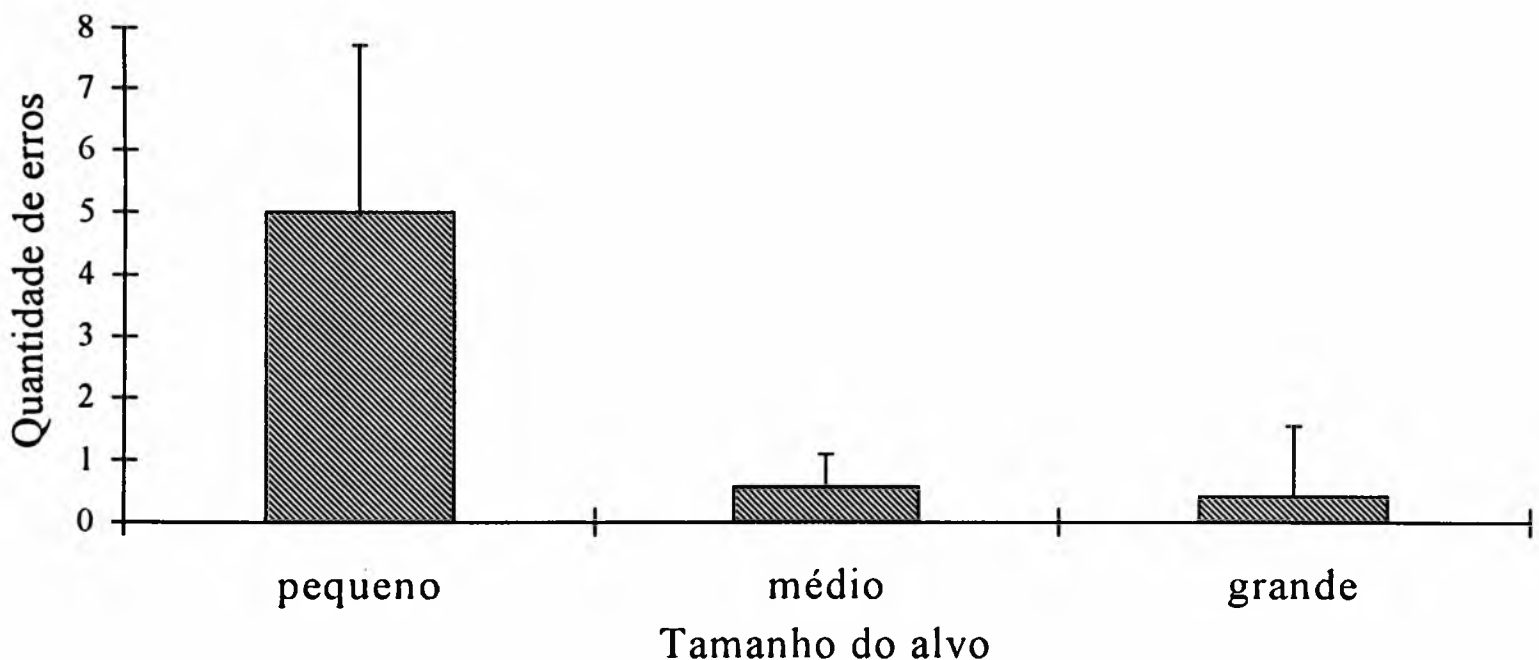


FIGURA 1 - Número médio de erros cometidos para cada tamanho de alvo; desvio padrão indicado por barras verticais.

Além da semelhança entre os valores encontrados para cada marco cinemático quando se comparou arremessos com diferentes demandas de precisão, os resultados da análise cinemática indicaram modos de coordenação intersegmentar também bastante semelhantes entre os sujeitos. Este padrão de coordenação pode ser visto na FIGURA 2, na qual observa-se que o ombro, cotovelo e punho atuaram de maneira sinérgica, contribuindo para a propulsão da bola pela produção de movimentos em direção ao alvo dentro da mesma janela temporal. O quadril, por outro lado, teve um papel passivo, com o hemiquadril direito sofrendo deslocamento no sentido inverso ao movimento global do corpo orientado ao alvo, a partir do momento que o braço começou a ser estendido à frente.

As curvas de velocidade do punho (FIGURA 3) apresentaram igualmente um padrão semelhante entre os sujeitos, o qual foi independente do tamanho do alvo. Tal perfil cinemático teve pequenas variações intersujeitos apenas em termos de magnitude do pico de velocidade e simetria da curva. Parte dos sujeitos apresentou um perfil de curva simétrico, com o pico de velocidade ocorrendo na porção intermediária do movimento, enquanto a outra parte dos sujeitos apresentou o pico de velocidade deslocado para a direita, indicando que o momento de maior velocidade ocorreu na parte final do movimento, mais próximo do instante de soltura da bola.

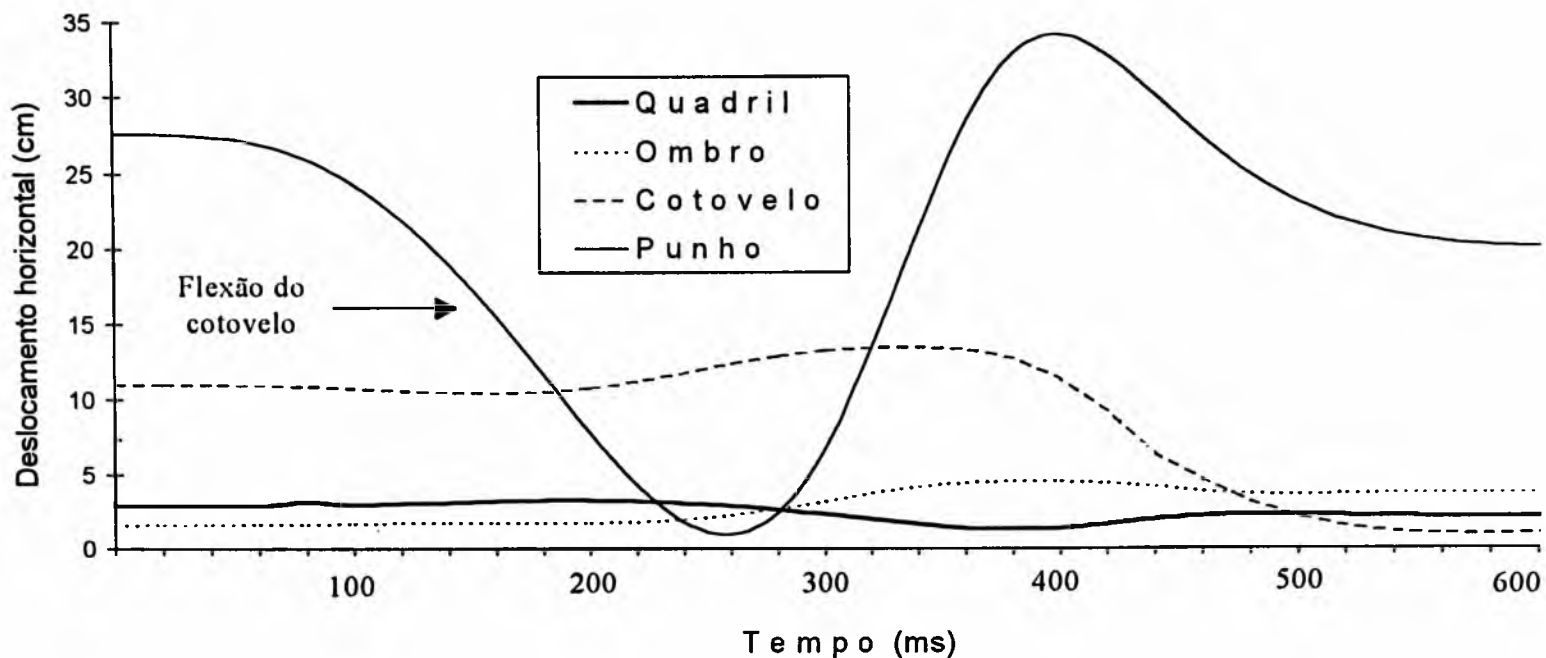


FIGURA 2 Perfil cinemático característico para deslocamento no eixo horizontal para os movimentos de quadril, ombro, cotovelo e punho do lado de execução do arremesso.

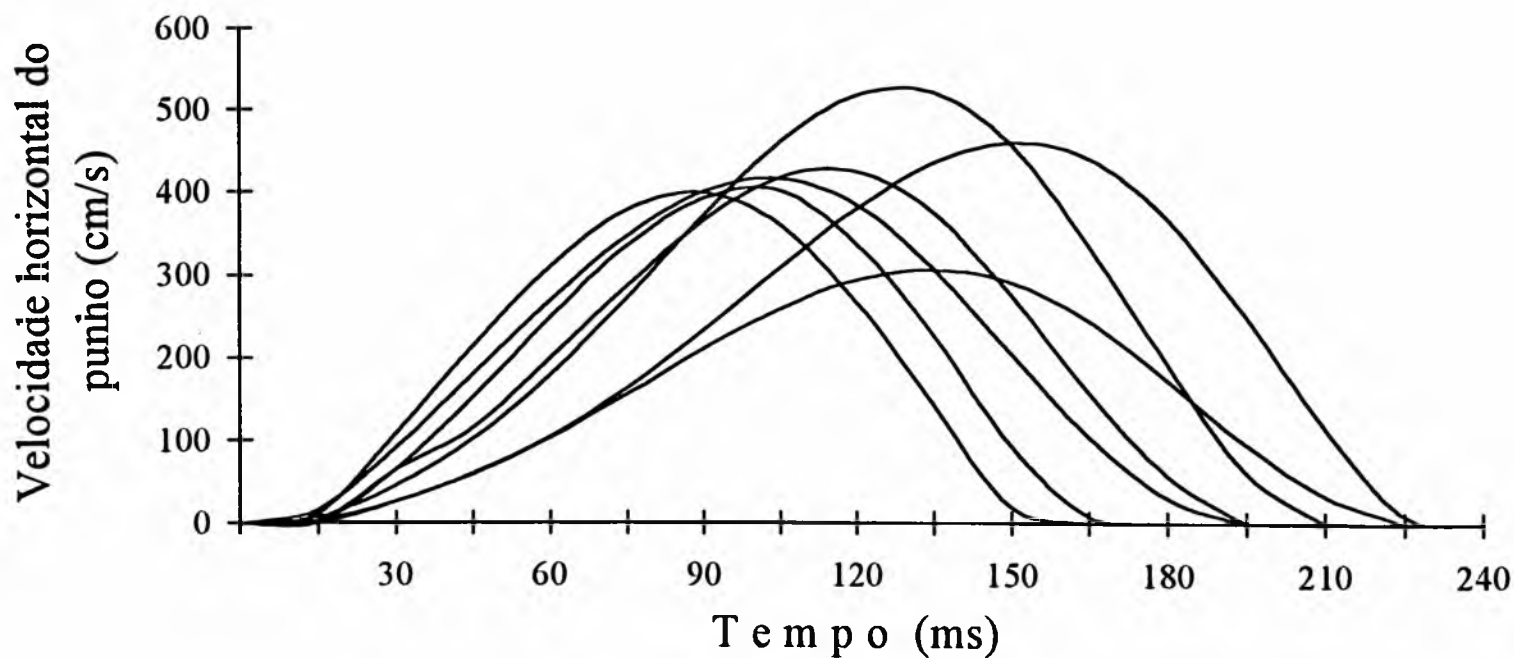


FIGURA 3 - Curvas de velocidade para a articulação do punho características de cada sujeito (eixo horizontal).

DISCUSSÃO

Para lidar com tarefas de arremesso à alvos com diferentes demandas de precisão, esperava-se observar alterações quantitativas em relação aos valores de velocidade, aceleração e amplitude dos movimentos de braço. Além disso, como diferentes modos de coordenação favorecem, a princípio, arremessos de precisão ou de potência, esperava-se observar também adaptações na dinâmica de coordenação entre os segmentos corporais analisados. Isto é, para o alvo pequeno, que impunha maior demanda de precisão, era esperada uma participação predominantemente estabilizadora por parte do quadril, enquanto que para o alvo grande, em que a margem de tolerância de erro foi consideravelmente maior, esperava-se uma participação mais ativa do quadril, auxiliando na propulsão da bola à frente através de um movimento balístico no sentido do movimento global do corpo.

Um aspecto notável dos resultados obtidos neste experimento, entretanto, foi a consistência no modo de coordenação entre os segmentos corporais analisados durante a execução do arremesso à alvos de diferentes tamanhos, com ação sinérgica entre os movimentos de punho, cotovelo e ombro, enquanto que o quadril desempenhou mais um papel de base de sustentação para os movimentos de braço e da parte superior do tronco, sofrendo um deslocamento no sentido inverso ao movimento principal. Como esse modo de coordenação foi consistente não apenas para cada sujeito frente a alvos de diferentes tamanhos, mas também entre os sujeitos participantes do estudo, estes resultados sugerem que tal modo de coordenação representa um atrator bastante poderoso da dinâmica de controle. Aparentemente, a estabilidade desse modo preferencial de coordenação torna difícil a reconfiguração imediata da estratégia de controle, a fim de maximizar a eficiência no uso dos graus de liberdade disponíveis ao sistema, aumentando a estabilidade da base de apoio ou aumentando a velocidade final do braço no momento de liberação da bola. O movimento do quadril no sentido oposto ao de extensão do braço parece ter uma função estabilizadora do equilíbrio neste movimento, uma vez que em um movimento balístico desta natureza o centro de gravidade tende a ser bruscamente projetado à frente do corpo. Assim, esta pode ser uma estratégia de controle selecionada a fim de manter o centro de gravidade sobre a base de apoio.

Em relação à magnitude dos valores das variáveis aqui analisadas, fica evidente a diferença na forma de controle entre tarefas motoras caracterizadas pela contatação física de um alvo espacial (como aquelas empregadas na testagem da Lei de Fitts) e a tarefa de arremesso aqui empregada, na qual o “alvo virtual”, representado pela posição e tempo de soltura da bola, impõe restrições mais rigorosas em termos de precisão. Uma possível explicação para esta diferença reside no fato de que na contatação de um alvo físico há condições mais favoráveis para utilização de mecanismos de controle baseados em uso de “feedback” visual, uma vez que na fase final de aproximação da mão ao alvo ambos estão dentro do campo focal de visão. Esta característica parece determinar a estratégia básica de controle, fazendo com que a velocidade de aproximação da mão, particularmente na fase pré-contato, flutue em função da demanda de precisão imposta pelo tamanho do alvo. Em tarefas de arremesso, por outro lado, não há essa proximidade do membro efetor em relação ao alvo. Esse fator parece refletir na dinâmica de execução do movimento, pela redução do volume de “feedback” utilizado para produção de ajustes finos, gerando perfis cinemáticos bastante parecidos frente a arremessos com diferentes demandas de precisão.

Toda adaptação requer um processo de aprendizagem ou relaxamento em um modo diferente de controle, em que as mudanças adaptativas desejadas podem surgir após poucas tentativas de prática, assim como durante o curso de uma extensa série de repetições na busca da melhor configuração para o sistema sensorio-motor. Partindo-se deste princípio, a aquisição de habilidades motoras tem sido conceitualizada como a busca de uma solução no espaço de trabalho percepto-motor que continuamente evolui da confluência de restrições sobre o comportamento, as quais originam-se do executante, do ambiente, e da tarefa realizada (Newell & McDonald, 1992). Assim, a aquisição de uma habilidade motora é considerada como uma exploração do espaço de trabalho na busca da forma mais efetiva e parcimoniosa de satisfazer a um campo multidimensional de restrições sobre a dinâmica de controle de uma ação motora particular, a partir do repertório comportamental já disponível ao indivíduo. Estados naturais de mínimo “stress”, que sejam compatíveis com as exigências da tarefa, representam pontos de alta estabilidade nos quais o sistema sensorio-motor tende a se estabelecer. Se uma nova tarefa demanda nova configuração na dinâmica de controle que não esteja disponível no repertório atual, alguma energia tem que ser gasta a fim de modificar os estados originais de maior estabilidade através da seleção de uma nova arquitetura para o sistema.

O processo de formação de novos atratores no modo de coordenação em função de prática sob novas exigências de organização temporal tem sido demonstrado por Zanone & Kelso (1991). Nesta investigação foi demonstrado que atratores naturalmente fortes do modo de coordenação, isto é, em fase ou antifase são desestabilizados quando movimentos cíclicos de coordenação bimanual são praticados com o objetivo de se estabelecer uma nova relação de fase (90°). Tais resultados mostram que o sistema sensório-motor busca e se estabelece em estados de maior adaptabilidade dentro das restrições impostas por múltiplas fontes, o que sugere um sistema que por um lado possui uma capacidade de produção de movimento bastante ampla e por outro é moldado especificamente pelas restrições particulares que lhe são apresentadas. Investigações sobre a especificidade de integração visomotora (Elliott & Jaeger 1988; Fayt, Minet & Sehepens, 1993; Ivens, 1996; Proteau & Cournoyer, 1990; Proteau, Marteniuk, Girouard & Dugas, 1987; Proteau, Marteniuk & Lévesque, 1992; Smyth, 1977, 1978; Teixeira, 1995), e proposições teóricas baseadas no princípio de seleção de grupos neurais (Changeux & Dohaene, 1989; Edelman, 1987) oferecem suporte a esta conceitualização.

Dessa forma, a ausência de diferença na magnitude dos diversos parâmetros cinemáticos analisados, assim como no modo de coordenação entre os segmentos corporais, em função da realização de arremessos à alvos possuindo diferentes demandas de precisão, pode ser devida à incapacidade do sistema de desestabilizar em um curto intervalo de tempo um modo de coordenação intersegmentar bastante estável, desenvolvido a partir de experiências prévias dos sujeitos na tarefa de arremessar. Tal incapacidade de mudança do padrão de arremesso foi refletido no maior número de erros para o alvo pequeno, assim como na não utilização do quadril de forma ativa para aumentar a potência de arremesso, particularmente quando a demanda de precisão era mais baixa. Para observar-se ajustes do desempenho que sejam compatíveis com as características particulares da tarefa, parece ser necessário um período de prática, em que seja oferecido "feedback" sobre as variáveis críticas para a tarefa tais como frequência de acertos e velocidade da bola. A partir destas condições possivelmente o modo original de coordenação seja desestabilizado, dando origem a novos modos mais adaptados de coordenação para cada tarefa motora em particular.

ABSTRACT

INTERSEGMENTAL COORDINATION IN THROWING TASKS WITH DIFFERENT ACCURACY DEMANDS

Speed and accuracy in the production of aiming movements to physical targets are two variables whose trade-off is a well-known phenomenon in the control of motor skills. This study aimed at investigating whether the same phenomenon takes place in the production of more complex ballistic movements, in which the spatio-temporal target to be hit by the hand is a virtual one. Furthermore, it was verified whether the alteration in the accuracy demand has implications on the number of degrees of freedom employed in movement control. In a single group design, seven subjects threw table tennis balls to circular targets of different sizes (10, 30, and 60 cm in diameter), placed 1.50 m away from them, trying to employ the maximum power without increasing the number of errors. Movements were recorded through an optoelectronic system (OPTOTRAK), using active markers on the hip, shoulder, elbow, and wrist. Several kinematic variables were analyzed from dynamic record of these markers. The results showed a singular mode of intersegmental coordination across subjects, with the hip playing a passive role in the movement execution, since it underwent a retroversion from the moment that the arm started to be extended forward. No differences were found in the mode of movement execution to targets of different sizes, which suggests that even skilled subjects at throwing tasks need a learning process to adapt themselves to particular requirements in their execution.

UNITERMS: Motor control; Intersegmental coordination; Ballistic movements; Throwing.

NOTAS

1. Desde que o terceiro LED não estava posicionado exatamente sobre o cotovelo, a velocidade angular do ombro relatada não é coincidente com a velocidade angular real desta articulação. Como a intenção deste estudo, entretanto, não é descrever valores absolutos mas compará-los em relação ao tamanho do alvo, esta imprecisão é de pouca importância.
2. Tempo correspondente ao período de aquisição do registro cinematográfico (4 s) mais o período de preparação para a tentativa seguinte (aproximadamente 3 s).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOOTSMA, R.J.; MARTENIUK, R.G.; MacKENZIE, C.L.; ZAAL, F.T.J.M. The speed-accuracy trade-off in manual prehension: effects of movement amplitude, object size and object width on kinematic characteristics. *Experimental Brain Research*, v.98, p.535-41, 1994.
- CHANGEUX, J.-P.; DEHAENE, S. Neuronal models of cognitive function. *Cognition*, v.33, p.63-109, 1989.
- EDELMAN, G.M. *Neural darwinism: the theory of neural group selection*. Basic, New York, 1987.
- ELLIOTT, D.; JAEGER, M. Practice and the visual control of manual aiming movements. *Journal of Human Movement Studies*, v.14, p.279-91, 1988.
- FAYT, C.; MINET, M.; SEHEPENS, N. Children's and adult's learning of a visuomanual coordination: role of ongoing visual feedback and of spatial errors as a function of age. *Perceptual and Motor Skills*, v.77, p.659-69, 1993.
- FITTS, P.M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, v.47, n.6, p.381-91, 1954.
- FITTS, P.M.; PETERSON, J.R. Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, v.67, n.2, p.103-12, 1964.
- GRAHAM, E.D. *Pointing on a computer display*. Burnaby, CAN., 1996. Tese (Doutorado) Universidade Simon Fraser.
- HORE, J.; WATTS, S.; MARTIN, J.; MILLER, B. Timing of finger opening and ball release in fast and accurate overarm throws. *Experimental Brain Research*, v.103, p.277-86, 1995.
- HORE, J.; WATTS, S.; TWEED, D. Arm position constraints when throwing in three dimensions. *Journal of Neurophysiology*, v.72, n.3, p.1171-80, 1994.
- IVENS, C. *An investigation of the specificity of motor learning hypothesis*. Burnaby, CAN, 1996. Dissertação (Mestrado) - Universidade Simon Fraser.
- MacKENZIE, C.L.; MARTENIUK, R.G.; DUGAS, C.; LISKE, D.; EICKMEIER, B. Three-dimensional movement trajectories in Fitts' task: Implications for control. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.39A, p.629-47, 1987.
- MARTENIUK, R.G.; MacKENZIE, C.L.; JEANNEROD, M.; ATHENES, S.; DUGAS, C. Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, v.41, n.3, p.365-78, 1987.
- MEYER, D.E.; ABRAMS, R.A.; KORNBLUM, S.; WRIGHT, C.E.; SMITH, J.E.K. Optimality in human motor performance: ideal control of rapid aimed movements. *Psychological Review*, v.95, n.3, p.340-70, 1988.
- NEWELL, K.M.; McDONALD, P.V. Searching for solutions to the coordination function: learning as exploratory behavior. In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J., eds. *Tutorials in motor behavior II*. North-Holland, Amsterdam, 1992. p.517-32
- PROTEAU L.; COURNOYER J. Vision of the stylus in a manual aiming task: the effects of practice. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.42A, p.811-28, 1990.
- PROTEAU, L.; MARTENIUK, R.G.; GIROUARD, Y.; DUGAS, C. On the type of information used to control and learn an aiming movement after moderate and extensive training. *Human Movement Science*, v.6, p.181-99, 1987.
- PROTEAU L.; MARTENIUK, R.G.; LÉVESQUE, L. A sensorimotor basis for motor learning: evidence indicating specificity of practice. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.44A, p.557-75, 1992.
- SCHMIDT, R.A.; ZELAZNIK, H.; HAWKINS, B.; FRANK, J.S.; QUINN, J.T. Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, v.86, n.5, p.415-51, 1979.
- SMYTH, M.M. Attention to visual feedback in motor learning. *Journal of Motor Behavior*, v.10, p.185-90, 1978.
- _____. The effect of visual guidance on the acquisition of a simple motor task. *Journal of Motor Behavior*, v.9, p.275-84, 1977.
- TEIXEIRA, L.A. *Integração visomotora no controle de tarefas sincronizatórias*. São Paulo, 1995. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física, Universidade de São Paulo,
- ZANONE, P.G.; KELSO, J.A.S. Experimental studies of behavioral attractors and their evolution with learning. In: REQUIN, J.; STELMACH, G.E., eds. *Tutorials in motor neuroscience*. Dordrecht, Kluwer, 1991. p.121-33.

Agradeço ao Prof. Dr. Ronald G. Marteniuk pela oportunidade de desenvolver este projeto de pesquisa junto à Universidade Simon Fraser, Colúmbia Britânica, Canadá, assim como a Chris Ivens pelo auxílio na coleta de dados. Este projeto foi financiado pela FAPESP através de bolsa de pós-doutoramento, processo n. 95/2840-6.

Recebido em: 05 set. 1997

Revisado em: 20 out. 1997

Aceito em: 29 out. 1997

ENDEREÇO: Luis Augusto Teixeira
Av. Prof. Mello Moraes, 65
05508-900 - São Paulo - SP - BRASIL