

Capítulo II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Introdução

O treino (entendido como momento de prática física e mental) é o instrumento que permite a alteração do rendimento desportivo (*performance*), melhorando-o, o que vulgarmente se traduz no maior êxito da prestação motora devido a uma maior eficácia na realização do gesto motor.

Assim poderemos dizer que o treino é um factor de aprendizagem, e esta, de acordo com Schimdt (1993), pode ser definida em termos de ganhos de capacidades que sustentam a *performance* das habilidades desportivas, estes ganhos são desenvolvidos durante a prática sendo a melhoria das capacidades responsável pela melhoria da *performance*.

Schimdt e Wrisberg (2000) referem a aprendizagem motora como o resultado de alterações nos processos internos que determinam uma capacidade individual para produzir uma acção motora, em que o nível de aprendizagem motora individual melhora com a prática.

Assim, podemos entender o treino sistemático de karate como um veículo de aprendizagem de tarefas motoras específicas onde se pretende obter, melhorar e automatizar gestos motores em resultado da repetição consciente, tal como Grosser et al. (1986) preconiza para as habilidades motoras, e assim ir ao encontro de uma melhor *performance* desportiva.

A aprendizagem de tarefas motoras e o desenvolvimento motor inerentes ao treino sistemático resultam em alterações positivas do comportamento motor que se associam aos mecanismos de controlo motor e à natureza dos processos de aprendizagem (Godinho et al., 2002).

O desenvolvimento motor (entendido como a alteração do comportamento motor verificado a longo prazo) e a execução de tarefas motoras adequadas, está dependente da capacidade do indivíduo ler e perceber o envolvimento em que se encontra, assim como depende da integração das suas experiencias passadas, ao que resulta a realização de uma resposta motora adequada à situação, com base ou não em posturas ou movimentos específicos, de acordo com os processos decisoriais de organização e regulação – controlo motor.

Assim, a observação do comportamento motor e a sua análise quanto aos mecanismos associados à sua ocorrência (estímulo, processamento, intenção, resposta) situa-nos no domínio do controlo e coordenação motora, por outro lado, a análise do comportamento numa perspectiva de transformação por efeito da prática ao longo do tempo, coloca-nos no domínio da aprendizagem e das adaptações nervosas.

2. Fundamentos da Organização do Movimento nos Andares Superiores do Sistema Nervoso Central e na Medula

2.1. Córtex Cerebral.

A realização de movimento, ou seja, a execução de um gesto motor específico realizado por um membro, ou segmento, necessita da estruturação ordenada e sequencial dos componentes do sistema locomotor que vão intervir na realização do movimento.

Os movimentos mais complexos, que se realizam de forma premeditada e voluntária procurando atingir um objectivo concreto, necessitam de uma elaboração e construção complexa, característica do funcionamento das áreas motoras do córtex cerebral, concretamente a área da motricidade voluntária, a área pré-motora, a área motora suplementar e as áreas 5 e 7 parietais (Rushworth et al., 2003; Kambhampati & Rajasekharan, 2003; Martin, 1998; Gerloff et al., 1998).

Funcionalmente é atribuída a estas estruturas corticais a responsabilidade de inventariação e montagem dos programas motores (PM), a evocação dos esquemas motores integrados com os parâmetros motores de sequência das contracções musculares, intensidade e duração a implementar durante a realização da acção motora. Após a programação já concretizada, esta é transmitida pelas vias neuronais descendentes, promovendo a realização das acções motoras, sendo atribuído à área motora suplementar a responsabilidade da activação dos mecanismos neuronais necessários a cada programa motor, ou seja dar início ao movimento.

Por outro lado, como referem Worringham et al. (In Zelaznik, 1996), enquanto se verifica o planeamento e execução das tarefas motoras, implementado pelas diferentes áreas do córtex cerebral, outras áreas no lobo frontal encontram-se activas em funções cognitivas associadas com a aprendizagem o que, em caso de serem criadas modificações estruturais permanentes, promove a formulação de um diferente PM.

2.2. Cerebelo.

Na estruturação, controlo e aprendizagem do movimento o cerebelo desenvolve um papel significativo e integrador. A pesquisa efectuada com pacientes com lesões cerebelares tem revelado que áreas específicas do cerebelo são essenciais para a integração e coordenação dos movimentos (Ramnani et al., 2001)

Através das diversas conexões neuronais que estabelece com os diversos órgãos, o que lhe permite receber, integrar e transmitir informação, relaciona também este órgão com a aprendizagem motora e com o controlo da execução das acções motoras.

Para Marr (1969) e Albus (1971), a informação que chega ao cerebelo com origem na oliva bulbar, via fibras trepadoras, condiciona as células de Purkinje a responder de formas diferentes aos *inputs* das fibras musgosas durante a aprendizagem motora, sendo que as células de Purkinje são as responsáveis pela saída de todos os sinais com origem no cerebelo.

Este mecanismo, através do “*ensino*” das fibras de Purkinje, parece permitir modificar a integração cerebelar de sinais sensoriais e motores com pequenos erros, o que levará a que o *output* seja previamente modificado, alterando/corrigindo o movimento planeado e que inicialmente resultaria em erro, controlando desta forma a eficácia da acção motora.

Este mecanismo encontra evidencias em estudos realizados com animais nas décadas de 80 e 90 (Lisberger, 1988; Yeo, 1988; Kelly, Zuo, and Bloedel, 1990), tendo no entanto sido referido que em relação ao papel do cerebelo na aprendizagem motora, este provavelmente centrar-se-ia na optimização da performance e não tanto na mediação de mudanças adaptativas.

Trabalhos realizados com humanos (Seitz et al., 1990; Graffon et al., 1992) encontram uma maior relação da actividade cerebelar com a execução motora do que com a aprendizagem, considerando ser relevante esta participação quanto à *performance*. Mas Friston et al., (1992), no estudo da actividade do cerebelo com a utilização de um gesto motor simples, verificou uma maior actividade do cerebelo durante a aprendizagem e um decréscimo dessa actividade durante a fase de mera execução.

Para Worringham et al. (In Zelaznik, 1996) o cerebelo revela-se importante na aprendizagem motora em animais, não sendo contudo igual a análise conclusiva quando se trata de humanos, onde o uso consciente do *feedback*, nomeadamente quanto ao resultado

da acção motora desenvolvida, deixa pouco espaço a adaptações automáticas que concorrem para a aprendizagem.

A informação de *feedback* proprioceptivo que chega ao cerebelo pelos feixes espino-cerebelosos, e que lhe permitem conhecer e avaliar o estado do aparelho locomotor, assim como as conexões que se realizam em ambos os sentidos entre as áreas motoras do córtex e o cerebelo, tendo nestes trajectos o apoio de centros retransmissores localizados no tronco cerebral, nomeadamente os núcleos da ponte e a oliva bulbar, torna o cerebelo um órgão fundamental na correcção da execução do gesto motor e no seu ajustamento ao objectivo definido (Correia et al., 2003; Martin, 1998; Fox, 2002), centrando a actividade cerebelar no controlo do movimento.

É também atribuído ao cerebelo um papel interventivo no cálculo antecipativo necessário à pré-programação de movimentos de características balísticas, o que lhe é possível de realizar devido à possibilidade de comparar as informações fornecidas pelo córtex quanto ao objectivo da acção motora e as informações sensoriais momentâneas e previsíveis que as suas aferências sensoriais constantemente lhe fornecem (Miall et al., 1993). Nesta função, são enquadrados o córtex lateral do cerebelo e o núcleo dentado, que se relacionarão com a pré-programação do padrão muscular característico dos movimentos balísticos assim como com o momento de activação de músculos agonistas e antagonistas quanto à implementação da acção motora e quanto à sua frenagem (Correia et al., 2003).

2.3. Núcleos da Base.

Os cinco núcleos da base sediados na profundidade do cérebro, o núcleo caudato, o putamen, a porção interna e externa do globo pálido, a substância negra e o núcleo subtalâmico, estão fundamentalmente relacionados com funções motoras, não sendo no entanto claro a sua possível participação na mediação da aprendizagem motora (Worringham et al., 1996).

A estruturação funcional dos núcleos da base, conhecida como corpo estriado, onde se distingue o paleo e o neoestriado, em associação com outros núcleos, comunicam através de eferências e aferências com o córtex cerebral e com o cerebelo, assegurando assim vias de integração, associação e transmissão de informação entre as diversas estruturas (Correia et al., 2003; Martin, 1998; Guyton & Hall, 1997).

O corpo estriado é o principal centro responsável pelos movimentos automáticos, sendo no entanto estes determinados e iniciados pelo córtex. Esta constatação é suportada

por estudos efectuados no âmbito clínico com pacientes com a doença de Parkinson (Marsden, 1982) que levaram a atribuir aos núcleos da base a responsabilidade da execução automática de PM aprendidos.

Foram também verificadas em doentes de Parkinson diferenças em relação ao normal no padrão de coordenação entre músculos agonistas e antagonistas nos movimentos lentos e nos movimentos balísticos (Hallett et al., 1977, Berardelli et al., 1996), acentuando-se estas diferenças nos movimentos balísticos em doentes de Parkinson que eram realizados com menor velocidade que o normal, sendo considerado que a menor velocidade verificada se devia à incapacidade para relaxar ou à rigidez dos músculos agonistas.

Em trabalhos realizados com símios De Long (1973) analisa a intervenção do putamen durante a execução de movimentos lentos e rápidos, verificando existir actividade dos neurónios antes do início do movimento, levando-o a concluir da participação dos núcleos da base na pré-programação do movimento.

Outros investigadores (Horak, 1984; Godaux & Chéron, 1989) nos seus trabalhos com movimentos rápidos verificaram alterações no comportamento da intensidade das activações musculares relacionadas com a intervenção dos núcleos da base, nomeadamente o globo pálido.

Desta forma parece haver uma participação dos núcleos da base na pré-programação dos movimentos rápidos, nomeadamente no que se refere à definição da intensidade das contracções musculares, o que os torna numa estrutura crucial na construção do PM.

Em síntese, a organização dos movimentos, nomeadamente os movimentos rápidos ou balísticos, parece solicitar uma participação particular do córtex cerebral relativamente à área motora suplementar, do cerebelo e dos núcleos da base.

Godaux e Chéron (1989) descrevem a sequência organizacional de participação das diferentes estruturas no movimento, em que este começa a ser organizado globalmente nas áreas corticais de iniciação, ou seja, área motora suplementar, área parietal das práxias e áreas corticais associativas.

A definição da sequência de activação muscular, os tempos e intensidades de activação contemplados na pré-programação, é da responsabilidade dos centros de programação, como o córtex lateral do cerebelo, núcleos da base e do córtex associativo, a serem solicitados pelas áreas iniciadoras do movimento.

As instruções emanadas pelas estruturas de programação são dirigidas à área 4 de Brodman que envia *outputs* específicos relativamente à intervenção muscular, tempos e intensidade das activações.

É através das vias cortico-espinais que o córtex motor enviará para os motoneurónios medulares as instruções pré-programadas referentes ao gesto motor a realizar.

2.4. Medula.

Inicialmente a medula é entendida apenas como um local de passagem de estímulos entre os andares superiores do SNC e a periferia. Esta ideia reducionista foi alterada sendo actualmente encarada como um órgão interveniente na estruturação do controlo da actividade motora, e assim pressupondo uma redução da intervenção dos níveis superiores nas sinergias neuromotoras presentes na coordenação de acções intencionais (Ivanenko et al., 2003; Lee, 1984; Correia, 1994).

As sinergias, no âmbito do modelo de Lee (1984) são entendidas como um conjunto de núcleos de motoneurónios (MN) que se associam com a activação de um grupo específico de músculos ligados por conexões que têm direcção, intensidade e sinal (facilitador ou inibidor). Assim, os padrões neuronais dos níveis inferiores são condicionadores das acções intencionais, e um amplo grupo de acções intencionais coordenadas poderá ser criado recrutando, modulando ou suprimindo conjuntos de sinergias neuromotoras (Ivanenko et al., 2003; Grillner, 2002).

Neste contexto, Correia (1994) refere que as evidencias experimentais identificam a existência de coerência electromiográfica e cinemática verificada em movimentos com padrão similar onde é verificado que o mesmo grupo de músculos é sempre activado revelando coerência espacial, existindo sincronismo entre os diferentes eventos, com uma ordem temporal fixa e relações fixas entre as fases reflectindo a coerência temporal, e escalamento de uns componentes relativamente a outros, o que fundamenta a hipótese de sinergias neuromotoras.

De acordo com o modelo de sinergias, a organização em rede torna possível a existência de vários graus de influência recíproca entre cada núcleo e os circundantes, encontrando-se representadas nas redes de núcleos e suas conexões os diferentes sistemas de sinergias.

2.4.1. Motoneurónios Alfa e Gama.

A regulação das contracções baseia-se na forma como o SNC otimiza os mecanismos de coordenação intramuscular quanto ao recrutamento, frequência e sincronização das unidades motoras (UM), gerindo a actividade dos MN alfa que inervam cada músculo, através do tipo e quantidade de excitação neural incidente nos seus corpos celulares.

O recrutamento e a frequência de activação do MN alfa está dependente do seu limiar de activação momentâneo e da intensidade do estímulo que recebe das vias que para ele convergem com origem nos níveis superiores e na periferia, e que poderão promover a sua activação ou a modulação do seu estado de excitabilidade.

O elevado número de conexões sinápticas que se realizam no MN, de origens diversas, tornam-no local de convergência de informação que intervirá no controlo do movimento, por intervenção na modificação do potencial do MN.

Nesta interacção, aos MN gama, nos movimentos rápidos, é atribuída a responsabilidade de promover a adequação da sensibilidade reflexa específica, antes de se dar início à concretização do programa motor (Correia, 1994, 2003).

2.4.2. Os Interneurónios.

Os interneurónios desempenham um papel fundamental na integração e convergência de informação que se dirige aos MN medulares.

A sua intervenção na modulação do nível base de excitação do MN, no processamento prévio de informação e a organização em rede de circuitos neuronais, tornam os interneurónios fundamentais para o controlo da direcção e intensidade dos sinais que actuam no MN (Correia, 1994, 2003; Martin, 1998, Latash, 1998a).

As conexões entre grupos de MN, realizadas por interneurónios, formam as redes neuronais responsáveis pelas sinergias neuromotoras (Lee, 1984).

A intervenção dos interneurónios na organização medular do movimento é evidenciada pelas células de Renshaw no que se refere ao mecanismo de inibição recorrente, que segundo Correia (1994) potencia a precisão das contracções.

Estes interneurónios promovem a hiperpolarização da membrana do MN, inibindo a passagem da estimulação, e assim controlando a população de MN excitados e não excitados que inervam os músculos sinérgicos.

Trabalhos realizados por Hultbron et al. (1988a, b) referem que as células de Renshaw, por acção dos MN de maior velocidade, sobre si, conduziram à inibição da actividade dos MN de menor velocidade (lentos), modulando assim a actividade muscular.

Outro aspecto associa-se com a possibilidade de organização recíproca dos comandos fásicos, nos movimentos rápidos, dirigidos aos MN agonistas (Ag) e antagonistas (Antg) e que permitem acelerar inicialmente o membro, podendo os comandos descendentes seguir trajectos separados, um excitatório dos MN Ag, e outro de inibição dos MN Antg. Por outro lado, os comandos descendentes poderão seguir um trajecto único, dirigido aos interneurónios excitatórios dos MN Ag e aos interneurónios inibitórios dos MN Antg.

Esta inibição terá como responsáveis os interneurónios inibitórios Ia, que activados pelas vias descendentes serão responsáveis pela inibição Antg e pelos processos de inervação recíproca, o que permite ao SNC diminuir os graus de liberdade para o controlo das acções musculares intencionais (Correia, 1994, 2003; Latash, 1998), um dos problemas evidenciados por Bernstein e que esteve na génese do desenvolvimento de diferentes modelos de controlo motor.

2.5. Actividade proprioceptiva reflexogénica.

No processo de integração de informação na medula, a informação de origem sensitiva proveniente dos receptores proprioceptivos, e que se relacionam de forma inequívoca com o controlo do movimento, o fuso neuromuscular (FNM) e o órgão tendinoso de Golgi (OTG) assumem um papel de destaque.

O FNM através da modificação do estado das fibras intrafusais (fibras em saco nuclear e fibras em cadeia nuclear), por acção do alongamento muscular, transmite uma informação de características dinâmicas que é conduzida através das fibras Ia e II em direcção à medula, aos MN, nos quais actuam de forma excitatória originando uma resposta reflexa monossináptica que leva à contracção muscular (Martin, 1998, Latash, 1998a; Correia, 1994, 2003).

Os dois tipos de terminações aferentes sensoriais que se encontram no FNM (terminações aferentes primárias e terminações aferentes secundárias) respondem de forma diferenciada às alterações dinâmicas do músculo.

As terminações primárias apresentam sensibilidade ao alongamento muscular e à velocidade com que este se realiza, e sendo fibras neuronais mielinizadas de grande

espessura desenvolvem velocidades de potencial de acção próximas dos 120 m/s, o que permite a obtenção de uma resposta muito rápida. Por outro lado, as terminações secundárias são apenas sensíveis ao alongamento muscular, e os seus axónios, com menor espessura, o que se reflecte numa menor velocidade de condução (20 a 60 m/s), conseqüentemente um maior tempo até à produção da resposta (Latash, 1993, 1998a).

Esta diferenciação de actuação das terminações aferentes do FNM leva a considerar a intervenção das terminações primárias associadas ao controlo dos movimentos balísticos (MB), e a intervenção das terminações secundárias associadas aos movimentos lentos (Latash, 1998a, Martin, 1998).

No controlo da sensibilidade das terminações aferentes do FNM, no seu limiar de resposta, intervêm os MN eferentes, designados por MN gama, que apresentam uma menor espessura que os MN alfa, e com uma velocidade de condução do potencial de acção menor (20 m/s).

O conjunto MN gama e fibras intrafusais formam o sistema gama, em que se identificam funcionalmente dois tipos de MN gama, dinâmicos e estáticos. Os MN gama dinâmicos inervam as fibras intrafusais dinâmicas em saco nuclear, controlando assim a sensibilidade das terminações aferentes primárias que se localizam nessas fibras. Os MN gama estáticos enviam os seus axónios para as fibras intrafusais em saco nuclear e em cadeia nuclear, intervindo sobre a sensibilidade das terminações primárias e secundárias (Latash, 1998a).

Assim, a modelação efectuada pelo sistema gama reflecte-se sobre a resposta reflexa monossináptica ao alongamento muscular, resposta esta que se associa também com a intervenção antagonista. Por outro lado, é de salientar que as fibras com origem no FNM enviam ramificações para os agonistas, e através do interneurónio inibitório Ia, para os antagonistas. Desta forma a activação das fibras Ia com origem nos músculos antagonistas, desenvolve uma acção de controlo sobre o MN, inibindo a sua actividade, em resposta ao rápido alongamento do músculo antagonista, mas com um tempo de intervenção mais tardio, devido à existência de mais uma sinapse (Latash 1993, 1998a).

Neste contexto relativo à intervenção do FNM no controlo dos movimentos voluntários, salienta-se a hipótese de servo-controlo de Merton (1953), referida durante o desenvolvimento desta revisão bibliográfica.

Um outro mecanismo aferente proprioceptivo que intervém sobre o MN tem origem no órgão tendinoso de Golgi (OTG) que através das fibras Ib informam sobre a deformação mecânica dos tendões musculares, quando acontece contracção do músculo.

As fibras Ib possuem grande velocidade de condução (80 m/s) devido à grande espessura dos seus axónios, o que permite uma actividade reflexa de resposta rápida. No entanto, não tão rápida como a que se verifica por acção do FNM, isto porque as fibras Ib realizam sinapse com interneurónios inibitórios Ib, e também com interneurónios excitatórios (Latash, 1998a; Martin, 1998; Correia et al., 2003).

Através dos interneurónios inibitórios Ib, o OTG promove a inibição da activação do MN Ag, o que resulta no relaxamento muscular. Por outro lado, as fibras Ib através do processo de inervação recíproca estabelecem circuitos com os interneurónios excitatórios que actuam nos MN dos músculos Antg, onde desenvolvem um processo facilitador da activação destes MN, o que conduz à contracção do músculo Antg.

O OTG não recebe inervação adicional, como acontece no FNM, o que torna a sua resposta à intensidade da contracção muscular relativamente independente de outros factores (Latash, 1998a). No entanto a actividade do interneurónio Ib é modulada por diversas aferências que para ele convergem, com origem nas fibras Ib do mesmo músculo, de músculos sinérgicos e de músculos antagonistas, assim como aferências das fibras Ia e II com origem no FNM, e outras fibras de receptores articulares e cutâneos. Dos andares superiores recebem aferências facilitadoras das fibras cortico-espinais e rubro-espinais, e aferências inibidoras das fibras reticulo-espinais (Correia, 1994, 2003).

Esta convergência influenciadora do interneurónio Ib limita a interpretação única de que este circuito se resumiria a uma intervenção protectora através da inactivação do MN no desenvolvimento de tensões contrácteis muito elevadas.

A modulação do interneurónio Ib, integrado no circuito estabelecido com o OTG, permite o controlo e regulação da intensidade da contracção muscular, e o nível de cooperação entre músculos sinérgicos.

Para além da actividade proprioceptora do FNM e do OTG ao nível muscular, outros receptores proprioceptivos localizados na articulação informam o SNC sobre o estado e comportamento da articulação.

Neste conjunto de receptores, 10% de fibras têm origem nos ligamentos, sendo fibras mielinizadas de grande espessura, com uma grande velocidade de condução (80 m/s), com adaptação lenta e um elevado limiar, o que as mantém inactivas a quando de um

posicionamento estático da articulação, tornando-se activas quando existe movimento mas só quando este se aproxima do seu extremo (Latash, 1998a, Martin, 1998, Correia et al., 2003).

A activação destes receptores promove a inibição reflexa dos músculos agonistas, e a facilitação dos antagonistas (Correia et al., 2003). Quanto ao posicionamento articular, Latash (1998a) refere que estes receptores, em movimentos naturais, não fornecem uma informação real.

Por outro lado, os receptores localizados na cápsula articular, sensíveis às alterações de tensão por esta sofrida, poderão não fornecer indicações fidedignas sobre o posicionamento articular, isto porque a actividade contráctil muscular promove também tensão sobre a cápsula, o que poderá originar uma activação dos receptores e uma resposta reflexa não relacionada com o posicionamento (Latash, 1998a).

A actividade proprioceptora induz mudanças na actividade muscular que não são controladas conscientemente, ou seja, a actividade reflexa que é gerada pelos proprioceptores ou o desenvolvimento de reacções pré-programadas.

A actividade reflexa com origem nas aferências dos receptores proprioceptivos que fazem convergir a informação para a medula, modelando nesta a actividade dos MN através dos interneurónios Ia, Ib e células de Renshaw, assim como a condução da informação proprioceptiva através de aferências para os níveis superiores do SNC, permitindo a percepção do corpo, o conhecimento da posição do membro e o planeamento do movimento, é um indicador da participação medular no controlo do movimento.

Para além das aferências proprioceptivas que modulam a actividade dos MN, estes recebem eferências dos andares superiores, com origem no córtex ou em diversos núcleos sub-corticais.

Com uma importância relevante na realização do movimento voluntário, o feixe cortico-espinal, com origem nas células piramidais de Betz, da V camada do córtex motor, ao realizarem circuitos monossinápticos com os MN que inervam os músculos que se localizam nos segmentos distais, controlam de forma directa e precisa a sua actividade programada, em que a sua estimulação é fundamental para a iniciação e a terminação dos movimentos, assim como para regular a força e a velocidade geral (Correia, 1994, Latash, 1998a, Martin, 1998).

Por outro lado, com origem em diferentes centros sub-corticais, as fibras tecto-espinais, olivo-espinais, vestibulo-espinais e reticulo-espinais, centram a sua influência nos

MN gama, onde intervêm no controlo e regulação do limiar de base de excitação do grupo motor, intervindo assim no tónus inerente à actividade motora (Correia, 1994, 2003; Martin, 1998).

3. Mecanismos de Coordenação Neuromuscular

Na realização de movimento seja este o normalmente efectuado na vida quotidiana de qualquer indivíduo ou o movimento especializado, característico das actividades desportivas, o aparelho locomotor é solicitado para a execução de tarefas motoras, mobilizando a musculatura esquelética e a estrutura osteoarticular. O músculo é o órgão motor que desenvolve a sua acção sobre um sistema de alavancas biomecânicas potenciando a realização de movimento.

A realidade anatomofuncional é mais complexa do que esta pequena e simplista descrição mecanicista. Temos que considerar uma diversidade de estruturas funcionais que concorrem para a realização do movimento, em que os diversos músculos, que apresentam características funcionais e estruturais diversificadas, como a sua forma e volume ou as suas características histológicas, que irão definir o papel funcional desse músculo. Outro factor de extrema importância relaciona-se com a dependência funcional dos órgãos executores, os músculos, do comando central, o Sistema Nervoso Central (SNC) que decide, ordena e corrige a execução do movimento, estimulando ou inibindo as unidades motoras (UM) a promoverem uma contracção, controlando assim a funcionalidade de músculos individualmente ou de grupos de músculos que se relacionam para a execução de uma tarefa motora.

3.1. Coordenação Intramuscular.

Para que um músculo produza trabalho mecânico é necessário que ocorra estimulação nervosa de forma a promover a sua contracção. O estímulo nervoso tem origem no SNC, que através da UM controla os parâmetros constituintes do processo voluntário que culmina na contracção muscular.

A UM como unidade funcional, consiste no conjunto formado pelo motoneurónio e pelas fibras musculares que este inerva, sendo a quantidade de fibras musculares pertencentes a uma UM variável mas em que estas apresentam características semelhantes.

Também o número de UM existentes em cada músculo humano, que formam o grupo motor, é variável, relacionando-se com as diferenças funcionais exigidas a cada músculo (Guyton & Hall, 1997; Mader, 2001; Gardiner, 2001; Fox, 2002; Correia et al., 2003; Latash, 1998) e, como refere Gardiner (2001), é compreensível que as unidades motoras que formam um músculo não sejam todas iguais, sendo importante e interessante as propriedades específicas de cada UM como a velocidade de contracção, a força, a tensão específica ou a sua resistência à fadiga.

O SNC actua, através das cadeias de motoneurónios medulares, controlando a actividade muscular através da quantidade de estimulação transmitida ao grupo motor, coordenando a actividade intramuscular. Este processo de controlo central sobre a activação muscular para a produção de força, acontece essencialmente segundo dois mecanismos que serão o número de UM recrutadas e a frequência de descarga de cada uma. No entanto deveremos considerar em situações de grande solicitação muscular ou fadiga, em sujeitos treinados, um terceiro mecanismo que é o grau de sincronização entre as descargas das diferentes UM.

Funcionalmente as diferentes UM de um músculo apresentam diferentes características entre si, o que permite à massa muscular, uma correcta adaptação da resposta a uma variedade ampla de acções que lhe são solicitadas.

Podemos distinguir UM com características estruturais e funcionais distintas que se associam ao tipo fibra muscular e sua contracção, e às características e tipo de actividade do motoneurónio que a inerva (Correia et al., 2003; Gardiner, 2001; Latash, 1998b; McComas, 1996).

Assim, de forma um pouco simplista poderíamos considerar a existência de três tipos de fibras distintas no músculo humano (Guyton & Hall, 1997; Mader, 2001; Fox, 2002; Correia et al., 2003; Latash, 1998b; Watkins, 1999): as de fibras contracção lenta ou tipo I, as fibras de contracção rápida do tipo IIa e as fibras de contracção rápida do tipo IIb, em que a diferenciação funcional verificada relaciona-se com a actividade da ATPase miofibrilhar.

Por outro lado, uma classificação menos comum identifica as fibras musculares isoladas em lentas e oxidativas, rápidas oxidativas e glicolíticas, e rápidas e glicolíticas (Silva, 2003), estando esta classificação dependente da identificação histoquímica da actividade metabólica e também da actividade da ATPase das fibras musculares.

A análise histoquímica identificou os três tipos de fibras no músculo humano, sendo no entanto possível estabelecer uma correspondência entre os dois esquemas classificativos apresentados identificando uma relação entre as características contrácteis e as características metabólicas.

Nesta associação poderemos dizer que a produção de contracções musculares lentas e prolongadas no tempo são características das fibras que apresentam um maior desenvolvimento dos processos metabólicos oxidativos (fibras tipo I, fibras musculares lentas e oxidativas), com maior vascularização e um elevado teor em mioglobina, assim como maior número de mitocôndrias e maior actividade enzimática, o que as torna mais resistentes à fadiga. Estas fibras são inervadas por motoneurónios de menores dimensões, com menor velocidade de condução, com limiares de excitação mais baixos e mais sensíveis ao reflexo de estiramento.

Por outro lado, no extremo oposto, as contracções musculares rápidas, de grande intensidade e de curta duração são características das fibras em que se verifica um predomínio dos processos metabólicos anaeróbios (fibras tipo IIb, fibras glicolíticas), com um crescente aumento em fosfocreatina, miosina ATPase e enzimas glicolíticos. São fibras com maior diâmetro, quantidade superior em proteínas contrácteis e miofibrilhas, o que permite uma maior potência de contracção. Sendo inervadas por motoneurónios de maiores dimensões, com axónio mais espesso, assegurando uma maior velocidade de condução do estímulo nervoso entre a medula e o músculo. Com um comportamento intermédio as fibras IIa (fibras rápidas oxidativas e glicolíticas) caracterizam-se por um perfil metabólico misto associado a uma capacidade contráctil rápida.

Gardiner (2001) refere que cada UM, tal como cada uma das fibras musculares que a inclui, apresentam propriedades de velocidade contráctil, resistência à fadiga e de força tetânica, em que a força tetânica está dependente não só do tamanho da fibra e da tensão tetânica específica mas também do número de fibras da UM. Assim, é possível estabelecer uma outra classificação, compartimentada em três ou quatro grupos, e a desenvolver de acordo com: a força tetânica relativa, a presença ou ausência de “barriga” (*sag*) durante uma contracção não total e a resistência à fadiga. Os grupos classificativos serão o tipo S (*slow*), correspondendo a uma fraca força tetânica, com ausência de “barriga” e com elevada resistência à fadiga. O segundo grupo será do tipo FF (*fast, fatigable*), o que corresponde a grande força tetânica, com “barriga” e muito fatigável, e por último o tipo FR (*fast, fatigue resistant*), que apresenta um nível intermédio de força tetânica e de

resistência à fadiga, tendo presente “barriga”. O quarto grupo classificativo, tipo FI, situa-se nas características intermédias do tipo FF e do tipo FR (Gardiner, 2001).

Dos conjuntos classificativos apresentados para as UM, respectivamente às fibras musculares que nestas predominam e aos motoneurónios que as inervam poderemos dizer que as UM tipo S serão compostas primordialmente por fibras tipo I, com motoneurónios de menor dimensão, menor velocidade de condução do sinal e limiar mais baixo, e as UM tipo FR e FF terão uma incidência de fibras do tipo IIa e IIb respectivamente, sendo inervadas por motoneurónios de maior dimensão, maior velocidade de condução do sinal e com limiar de excitação progressivamente mais elevado.

Nestas classificações são colocadas em evidência as diferenças ou pontos comuns, relativamente à estrutura e ao metabolismo existente entre os diferentes tipos de fibras, que conduzem a um comportamento em contracção diferenciado das UM o que no entanto permite uma adequação da solicitação das diferentes UM, para a realização equilibrada de uma acção muscular devidamente enquadrada na realização de um gesto motor.

A estrutura das UM, quanto à sua homogeneidade de composição em fibras, continua a não ser uma questão muito clara, o que no entanto se torna importante para esclarecimento dos diferentes papéis que as massas musculares desempenham na realização do gesto motor. Relativamente a esta problemática Gardiner (2001) refere que a investigação mais recente, realizada em ratos, indicia que as UM não são uniformes quanto à sua composição em fibras, sendo identificadas fibras de características mais oxidativas numa determinada região da UM comparativamente com as fibras de características mais glicolíticas existentes em outra região da mesma UM. Esta composição não homogénea da UM, caso se verifique acontecer de igual forma no ser humano, pode-nos sugerir uma dualidade de funcionamento das UM, o que nos cria novas interrogações de como é que este hibridismo influencia e é influenciado pelos mecanismos de controlo para a realização de uma acção muscular.

3.1.1. Recrutamento das Unidades Motoras.

A distribuição no músculo dos diferentes tipos de fibras musculares afecta a função motora do movimento humano. O controlo da intensidade da contracção muscular é, em primeiro lugar, efectuado através da selecção das UM a serem estimuladas, trabalho efectuado pelo SNC.

Em estudos realizados na análise do alongamento dos músculos posteriores do membro traseiro de gatos, verificou-se existir uma ordem de recrutamento das UM (Henneman, 1965; Calancie et al., 1985) em que o recrutamento dos motoneurónios alfa de um grupo motor se efectua segundo o princípio do tamanho, sendo os motoneurónios de menores dimensões, aqueles que inervam as UM tónicas, recrutados sempre antes dos motoneurónios de maiores dimensões, os que inervam as UM fásicas, em que estes últimos apresentam um elevado limiar de excitação. Assim, os motoneurónios de maiores dimensões só serão chamados a intervir em tarefas motoras em que são necessárias contracções de grande intensidade ou de grande velocidade, em que a intensidade de estimulação do grupo motor é muito grande.

Desde essa altura numerosos estudos foram efectuados com músculos humanos tanto na realização de contracções voluntárias como em contracções reflexas, tendo sido encontrados os mesmos princípios de recrutamento (McComas, 1996).

Este comportamento revela uma intervenção económica e eficaz do SNC no recrutamento das UM para a produção de diferentes níveis de força, permitindo o aumento gradual de tensões em qualquer nível de força, através do recrutamento de mais UM de maiores dimensões, e que metabolicamente se diferenciam, sendo funcionalmente mais rápidas e com maior capacidade de produção de força, mas menos resistentes à fadiga.

No entanto, o princípio do tamanho (*size principle*) no recrutamento dos motoneurónios, foi por alguns investigadores questionado, tendo sido em circunstâncias especiais encontradas alterações à ordem de recrutamento descrita por Henneman.

Estudos realizados com a aplicação de estímulos sensoriais simultâneos na pele conduziram à alteração da ordem de recrutamento das UM preconizada de acordo com o princípio do tamanho (Grimby & Hannerz, 1968; Garnett & Stephens, 1980). Foi também demonstrado que a ordem de recrutamento pode variar se o mesmo músculo for utilizado com diferentes finalidades ou em modos ligeiramente diferentes, sendo disso exemplo o bíceps braquial em que a ordem de disparo das UM depende se o músculo vai contrair para realizar a flexão do antebraço, a sua supinação ou promover a rotação externa do úmero (Gielen & Denier van der Gon, 1990). Por outro lado, factores passivos como a posição da articulação, podem promover a alteração na ordem de recrutamento pelo tamanho das UM, como foi verificado por Person (1974) que encontrou variabilidade na ordem de recrutamento no recto femoral quando surgia alteração posicional da articulação na tarefa efectuada pelo músculo. No entanto, quando a mesma acção motora é realizada

exactamente da mesma forma, a ordem pela qual acontece o recrutamento das UM permanece inalterado (McComas, 1996).

McComas (1996) refere que foi verificado experimentalmente em animais e em humanos que em contracções voluntárias isométricas ou em contracções repetitivas em actividades de características cíclicas (pedalar) realizadas com solicitação de força igual ou inferior a 20% da força máxima, que as UM tipo I são aquelas que são solicitadas a intervir preferencialmente. Quando são utilizadas forças elevadas, nos mesmos tipos de exercícios, as fibras tipo II são as primeiras a perderem glicogénio, sugerindo que as UM tipo II estiveram mais activas, assim conclui que as fibras tipo I são preferencialmente usadas em esforços fracos e as fibras tipo II estão reservadas para esforços de grande intensidade.

Nos movimentos executados com grande velocidade e contracções fortes, os estudos realizados em animais e humanos evidenciam um preferencial recrutamento das UM tipo II em oposição às UM tipo I, no entanto foi também verificado que em determinadas situações algumas UM tipo II apresentam um baixo limiar de excitação, e uma menor velocidade de condução dos impulsos (Grimby, 1984), estando esta evidência associada com a intervenção dessas UM na correcção rápida de movimentos por alteração da aceleração ou da sua direcção de forma repentina (McComas, 1996).

Assim, quando se verificam contracções efectuadas a diferentes velocidades, os comandos descendentes não permitem uma escolha livre entre os motoneurónios individuais do músculo, mantendo o princípio da ordem de recrutamento (Ivanova et al., 1997; Bernardi et al., 1999; Garland et al., 1996; Correia et al., 2003).

Como refere Gardiner (2001) a análise da ordem de recrutamento de UM nos movimentos voluntários deve tomar em consideração que muitos músculos participam em diversos tipos de movimentos e, anatomicamente são encontrados diversos compartimentos na formação de cada uma dessas massas musculares, separados por inervação motora e sensitiva intramuscular específica para cada compartimento, o que tem evidenciado através do EMG que os diferentes compartimentos dos músculos são usados de forma diferente, dependendo do movimento (Wickham and Brown, 1998). Consistente com esta ideia da existência de compartimentos associados com o movimento executado, prende-se a ideia da existência de grupos de UM associadas com movimentos específicos, sendo então as UM motoras do músculo recrutadas de forma diferente, de acordo com o movimento a ser executado (Dupont et al., 2000; Gardiner, 2001). Mas quando se trata de contracções isométricas realizadas pelo mesmo músculo mas com o segmento articular colocado em

posições diferentes, de acordo com as características de mobilidade do músculo para cada posicionamento, foi verificado que as UM que participam nos diferentes movimentos da articulação parecem ser recrutadas para cada movimento de acordo com o princípio do tamanho (Gardiner, 2001).

Por outro lado, parece haver evidências de que as UM devem ser recrutadas de forma diferente durante contrações que se associam a acções dinâmicas e a contrações estáticas, mas em que ambas se desenvolvem com a mesma força relativa. Thickbroom e os seus colaboradores (1999), com recurso à ressonância nuclear magnética funcional observaram que o sinal do córtex sensorio-motor era consideravelmente maior durante uma flexão dinâmica e rítmica do dedo do que o sinal gerado quando tinha origem numa força do mesmo nível de intensidade mas realizada de forma estática.

Outros trabalhos realizados sobre o recrutamento das UM em acções contrácteis isométricas e acções contrácteis isotónicas em extensão e em flexão (Tax et al., 1989, 1990), revelaram uma aparente diferença na activação das UM, mas tendo este diferente recrutamento sido atribuído a diferenças de activação de origem central e não periférica, em que os limiares de activação das UM eram mais reduzidos quando as contrações envolviam a realização de movimento articular. Estas conclusões foram suportadas em trabalhos realizados com o músculo bicípite braquial, em contrações concêntricas em isovelocidade comparadas com contrações isométricas, em que no primeiro tipo de contração foi verificado que o limiar de activação das UM era inferior em relação ao verificado para o segundo tipo de contração (Christova, 1998).

Van Bolhuis, Medendorp e Gielen (1997), ao estudarem a flexão horizontal do cotovelo com pequenas cargas, em contrações isométricas e isotónicas, concluíram que o comportamento das mesmas UM nos músculos braquial anterior e bicípite braquial variava, estando dependente do tipo de contração e da velocidade do movimento. Gardiner (2001) refere que os resultados encontrados por estes investigadores indicam que as UM são activadas de forma diferente em contrações isométricas e em tarefas com movimento, o mesmo acontecendo em relação às contrações realizadas em alongamento muscular e em encurtamento muscular, mas estas observações não indicam forçosamente uma alteração na ordem de recrutamento das UM, apenas indicam que de alguma forma o limiar de activação das UM é alterado, condicionando assim a ordem de recrutamento das UM.

3.1.2. *Frequência de Activação das Unidades Motoras.*

O aumento da força em contracções de maior intensidade deve-se em grande parte à diminuição no intervalo temporal de aplicação de estímulos que promovem a contracção. O motoneurónio envia para a fibra muscular um segundo estímulo antes de esta relaxar promovendo nova contracção mas, com maior tensão, e produzindo aquilo que se designa por contracção tetânica (Guyton, 1996; Correia et al., 2003; Starling & Evans, 1968; Latash, 1998). A velocidade de contracção relaciona-se directamente com a frequência de estimulação das UM.

O valor mais baixo de frequência que pode ser mantido quando uma UM é recrutada no seu limiar de excitabilidade é a frequência de activação mínima da UM, este valor situa-se usualmente abaixo dos 16 Hz. Por outro lado, a frequência máxima é aquela que pode ser atingida numa contracção voluntária máxima (CVM), de onde poderemos encontrar valores de frequência de activação de 60 Hz (Gardiner, 2001; McComas, 1996; Santos, 1995; Correia, 1994). Em contracções bruscas podem ser atingidas frequências de activação instantâneas de 80 – 100 Hz, mas durante um intervalo de tempo muito reduzido e apenas no início da contracção devido a se verificar uma rápida instalação de fadiga (Gardiner, 2001; McComas, 1996; Correia, 1994).

Relativamente à composição muscular e às características que as fibras musculares apresentam, foi verificado que as fibras tipo I (tónicas) apresentam frequências de activação mínimas e máximas mais baixas do que as fibras tipo II (fásicas), tendo os registos sido obtidos em zonas idênticas do mesmo músculo.

Sogaard e colegas (1998), em estudos realizados com electromiografia (EMG) de profundidade, para analisar potenciais individuais de fibras tónicas e fásicas, observaram um comportamento diferenciado da frequência de activação em resposta ao aumento de força. As fibras tónicas aumentam a frequência (20 a 30 Hz) de forma lenta e contínua até um determinado nível em resposta ao aumento da força (60 a 80% da CVM), mantendo a frequência durante longos intervalos de tempo. Por outro lado, as fibras fásicas não apresentam uma continuidade de disparo, só o começando a fazer de forma repetida em frequências elevadas, aumentando a frequência com a força (100% da CVM) até aos seus níveis máximos, podendo ultrapassar os 100 Hz (Correia et al., 2003).

Nos movimentos muito rápidos, designados como movimentos balísticos (MB), no padrão de activação das UM, a frequência de activação é muito elevada logo no início da contracção (60 a 150 Hz), caindo abruptamente de seguida (Rosenfalck & Anderson, 1978;

Freund & Budingen, 1978). Esta situação não é a que caracteriza o padrão de activação nos movimentos de contracções lentas e progressivas, em que através da comparação efectuada entre a realização de acções balísticas e não balísticas (Linnamo et al., 2003), foi verificado que nos movimentos de contracções lentas e progressivas a frequência de disparo se inicia a um nível baixo e aumenta progressivamente com a força desenvolvida pelo músculo, não ultrapassando normalmente os 60 Hz. Por outro lado, foi também verificado que nos MB a frequência de activação das UM é normalmente mais elevada do que o necessário para atingir a força máxima do músculo durante os primeiros instantes de contracção.

3.1.3. O Recrutamento UM e a Frequência de Activação.

O recrutamento de UM e a frequência de activação são os mecanismos que mais contribuem para o controlo da activação do músculo quando envolvido numa tarefa motora.

Neste âmbito, diversos estudos realizados ao longo do tempo, tendo uns dado maior ênfase ao recrutamento de UM e outros ao papel da frequência de activação, ou aqueles que se preocuparam em verificar as diferenças na importância relativa do recrutamento de UM e frequência de activação (Kukulka & Clamann, 1981; Bigland & Lippold, 1954; De Luca et al., 1982; Milner - Brown et al., 1973), permitem-nos dizer que o mecanismo de recrutamento de UM é provavelmente o mais usado em músculos de grandes dimensões, com grande número de UM, em que são produzidas contracções suaves e controladas, permitindo que o recrutamento de cada UM traga um acréscimo de força.

Por outro lado, a frequência de activação permite otimizar a resposta mecânica de cada fibra muscular, assumindo relevo nos músculos de pequenas dimensões envolvidos em movimentos precisos, em que a activação poderá ser determinante na regulação da força.

Gardiner (2001) refere que em trabalhos realizados na análise comparativa de contracções balísticas isométricas e contracções lentas verificaram que a ordem de recrutamento das UM encontrada para as contracções lentas em rampa era mantida, no entanto os limiares de força eram mais baixos, por outro lado as frequências iniciais de activação eram mais elevadas durante as contracções balísticas.

Em movimentos com contracções concêntricas foi verificado existir inicialmente uma dupla descarga com alta frequência na UM, sendo evidente esta acontecer durante o período inicial de aumento de força que precede o movimento (Kossev & Christova, 1998),

indo este comportamento permitir um aumento de força muito rapidamente de forma a diminuir a carga inercial (Gardiner, 2001).

Foi verificado em contracções estáticas que no início da contracção o recrutamento de UM é o factor determinante e acontece seguindo o princípio de Henneman, mantendo-se esta tendência até cerca dos 30% da CVM, segue-se então uma participação progressivamente crescente da frequência de activação, atingindo o seu máximo envolvimento aos 75% da CVM, continuando em simultâneo mas em menor quantidade a verificar-se o recrutamento das UM maiores. Acima dos 75 % o aumento da frequência de activação contínua a ser o factor predominante na produção de força.

Assim, poderemos dizer que a frequência de activação é o mecanismo mais importante em níveis elevados de produção de força, e o recrutamento de UM o responsável nos níveis inferiores. Mas estes resultados obtidos em contracções estáticas não se reproduzem em contracções dinâmicas, em particular nos movimentos de características balísticas.

Os trabalhos sumariamente apresentados conduzem-nos para a noção de uma coexistência entre os dois mecanismos tendo cada um deles maior ou menor envolvimento de acordo com o tipo, o momento da acção muscular e as características dos músculos envolvidos. Neste âmbito, a análise através do EMG da intervenção de diferentes tipos de músculos na realização de tarefas motoras, tem identificado a existência de uma relação entre o percentual do tipo de fibra muscular constituinte do músculo e a participação dos mecanismos de recrutamento de UM ou frequência de activação na produção de força (Correia et al., 2003).

3.1.4. A Sincronização.

Para que se realize uma contracção máxima de um músculo é pressuposto a intervenção de todas as UM, o que implica o seu recrutamento e activação de forma síncrona, necessitando que os estímulos motores excitatórios descendentes, medulares e periféricos divirjam através das ligações sinápticas, em direcção a uma vasta população de motoneurónios que inervam as diversas UM do músculo. O conjunto de ramificações de fibras pré-sinápticas vão produzir potenciais excitatórios quase simultâneos nos motoneurónios e dessa forma é criada a possibilidade de desenvolver potenciais de acção simultâneos nos motoneurónios que inervam as UM, tendo como consequência a activação das fibras musculares de forma síncrona (Yao et al., 2000).

Mas na realização normal de tarefas motoras em que não são geralmente atingidos os valores máximos da capacidade contráctil muscular, a contracção muscular e a consequente produção de força realiza-se através da intervenção dos mecanismos de recrutamento de UM e da frequência de activação.

Assim, a sincronização de activação das UM torna-se uma coincidência temporal do disparo de duas ou mais UM quando da realização de uma tarefa motora onde a sua magnitude é variável, encontrando-se influenciada por factores como a tarefa a desenvolver, as UM e músculos envolvidos na tarefa e o tipo de actividade física que o sujeito realiza habitualmente (Huesler et al., 1998; Semmler and Nordstrom, 1995, 1998).

Este mecanismo intervém com incidência em indivíduos treinados na produção de força ou aqueles que nas suas tarefas motoras diárias solicitam grandes níveis de produção de força num curto espaço de tempo (estivadores, lançadores, halterofilistas), mas em que não é exigido um controlo minucioso da acção muscular inerente à tarefa, o que pode tornar a sincronização uma aquisição inerente ao processo de produção de força.

Santelo e Fuglevand (2004) referem que tende a haver sincronismo de activação das UM quando são desenvolvidas forças no movimento de agarrar efectuado por pares de dedos. É sugerido que este mecanismo é responsável por forçar as relações temporais entre as forças necessárias para a realização dessa tarefa motora.

Em tarefas motoras de grande minúcia e precisão, como as que são desenvolvidas por músicos, o nível de sincronização das UM é reduzido, relativamente aos músculos das mãos (Semmler et al., 2004; Semmler and Nordstrom, 1995, 1998).

Por outro lado, a instalação da fadiga devido ao desenvolvimento de tarefas motoras de grande esforço pode conduzir a que surja a sincronização de UM, podendo esta ser considerada como uma adaptação, mas não estão totalmente clarificadas as relações entre o mecanismo de sincronização de UM e o aumento da capacidade de produção de força (Correia, 1994).

3.2. Coordenação Intermuscular.

A realização de uma acção motora é possível por duas razões básicas: a existência de um centro decisor e coordenador que ordena a sua realização, o SNC e, a existência de uma estrutura mecânica que realiza a acção, o conjunto ósseo, articulações e músculos, mais concretamente o aparelho locomotor humano.

O músculo, a sua forma e volume, a sua composição histológica e a orientação espacial que este apresenta no aparelho locomotor, condicionam o seu papel funcional na realização das acções motoras.

Temos também que considerar que a acção motora não acontece com a contracção de apenas um músculo, verificando-se uma cooperação intermuscular, coordenada pelo SNC, na realização de qualquer acção motora, por muito simples que esta seja.

Neste trabalho cooperativo verifica-se a atribuição de diversos papéis aos diversos músculos intervenientes na acção motora, como seja:

- o de músculos sinergistas, que atravessando a articulação ou articulações onde se realiza o movimento e com linha de tracção no sentido do movimento, participam na sua realização podendo uns ser os principais responsáveis pela acção motora (agonistas principais) e outros apenas auxiliares (agonistas secundários);
- como músculos agonistas (Ag) e músculos antagonistas (Antg), em que os primeiros serão os principais responsáveis pela realização da acção motora e os segundos, que devido à sua localização, oposta aos primeiros, têm como função principal controlar a realização do movimento através do controlo da aceleração do segmento durante a sua realização e assim protegendo todas as estruturas envolvidas na sua realização (Shapiro et al., 2005; Jaric et al., 1995; Behm et al., 1996, Gabriel et al., 1998);
- músculos mono e biarticulares em que os primeiros ao cruzarem apenas por uma articulação, a sua contracção centra o movimento nessa articulação e os segundos, cruzando duas articulações movimentam dois segmentos, desenvolvendo uma acção interarticular (Van Groeningen et al., 1994).

Deveremos considerar quando realizamos uma análise do gesto motor que este não acontece apenas em uma articulação, é geralmente constituído por uma cadeia cinética formada por vários segmentos articulados entre si em que se verificam processos de transferência de energia mecânica (Correia et al., 2003).

3.2.1. Coordenação de Músculos Sinérgicos.

Para uma determinada acção motora, realizada por um segmento articulado, encontramos um grupo de músculos sinergistas em que poderemos distinguir os Ag principais, os Ag secundários na sua realização e que irão intervir na acção motora se as

condições para que esta aconteça assim o exigirem. Isto é, o SNC ao nível medular gere a participação dos Ag secundários e principais na acção motora, de forma a rentabilizar as características morfofuncionais dos diferentes músculos e das características da acção motora em causa, quanto ao nível de exigência em velocidade ou intensidade da carga, ou mesmo a posição do segmento.

Mas o movimento de um segmento necessita que o local de origem do músculo seja estável, necessitando da intervenção de outros músculos que promovam essa estabilidade (músculos fixadores), que o fixem, permitindo uma contracção eficaz dos Ag na realização da acção motora.

Na realização de qualquer acção motora o controlo coordenado e temporalmente adequado dos diversos grupos musculares, efectuado ao nível medular, é fundamental para o seu êxito.

3.2.2. Coordenação Agonista/Antagonista.

No desenvolvimento de qualquer acção motora, a relação existente entre músculos Ag e Antg condiciona o êxito final da sua realização, sendo o controlo dos padrões de activação muscular, efectuados ao nível medular, decisivos na realização da tarefa motora (Correia et al., 2003; Luttgens, 1997; Latash, 1998).

Em acções motoras realizadas num espaço de tempo mais longo foi verificado uma activação simultânea de músculos Ag e Antg (coactivação), sendo esse padrão conhecido como cocontração (Gardiner, 2001; McComas, 1996). A cocontração permite um aumento da estabilidade articular (Weir et al., 1998) através de um maior controlo do movimento em que o músculo Antg desenvolve um papel de frenador constante, não permitindo uma velocidade elevada (Solomonov et al., 1988, citado Correia et al., 2003; Gardiner, 2001), estando este padrão geralmente associado à aprendizagem de novas tarefas motoras.

Por outro lado, nas acções motoras realizadas num curto período de tempo, em que a grande velocidade de execução é característica, verifica-se uma alteração de estratégia do sistema nervoso na coordenação, em que a inervação recíproca surge como padrão no controlo dos músculos Ag e Antg. Assim, regista-se um padrão fásico da actividade muscular, com impulsos de curta duração e bem definidos, em que o Antg é activado muito próximo do fim do impulso Ag, onde o antagonista irá ser responsável pela desaceleração do movimento (Correia et al., 2003; Latash, 1998, Gottlieb, 1998).

Nas acções motoras de grande velocidade, movimentos de características balísticas, é descrito como padrão de inervação recíproca o padrão trifásico, em que se verifica um padrão de activação muscular constituído por três ondas (Morrison et al., 1999; Brown et al., 1991; Correia, 1994).

Os três impulsos que caracterizam este padrão identificam a discrepância temporal de activação dos músculos Ag e Antg na realização da acção motora.

O primeiro impulso acontece com a activação Ag e tem o seu início antes do começo do movimento, terminando pouco depois desse momento, sendo precedido por um período de silêncio eléctrico do Ag. Neste período de silêncio Ag acontece o impulso Antg, que é associado à desaceleração e controlo do momento final de aceleração do movimento.

Perto do final da acção motora verifica-se um novo impulso Ag de menor amplitude que o primeiro, estando este associado ao controlo da precisão do movimento.

O padrão trifásico é característico do controlo efectuado pelo SNC nas acções motoras realizadas em velocidade máxima ou próximo da velocidade máxima.

Correia et al. (2004) refere que este padrão também é utilizado em movimentos mais lentos, não havendo um limiar de velocidade ou duração do movimento a partir do qual ele passe a surgir. Verifica-se com maior frequência nos movimentos mais rápidos, em oposição à cocontração.

No entanto, Lee et al. (1999), ao estudarem a extensão dos dedos em movimentos balísticos em atletas treinados em Karate e Kendo, não encontraram o característico padrão trifásico nesta acção motora específica, tendo sido verificado um padrão de cocontração entre flexores e extensores dos dedos, em que os autores associam este resultado ao treino e ao aumento da eficiência da acção.

Por outro lado Shapiro et al. (2005) refere que a activação muscular é diferente para os mesmos músculos quando estes participam num movimento voluntário como agonista ou como antagonistas. Os autores verificaram através de uma análise EMG no movimento de extensão/flexão do antebraço, com os músculos bicípite braquial e tricípite braquial, que ambos os músculos em todos os seus ventres apresentavam EMG 2 vezes superiores quando estes desenvolviam uma acção como Ag comparativamente com o que acontecia na sua participação como Antg.

3.2.3. Coordenação Entre Músculos Monoarticulares/Biarticulares.

A realização de acções motoras pelo corpo humano é da responsabilidade da contracção dos músculos que ao actuarem sobre os segmentos articulados promovem o movimento.

Raramente o movimento realizado acontece em apenas uma articulação, como foi anteriormente referido e, em diversos segmentos localizam-se massas musculares que actuam sobre duas articulações, sendo estes designados por músculos biarticulares. Outros actuam apenas sobre uma articulação, sendo considerados monoarticulares. Ambos os grupos desempenham um importante papel na realização das acções motoras, sendo a sua coordenação factor fundamental para o êxito do movimento (Enoka, 2001).

Os músculos monoarticulares e os biarticulares distribuem-se pelos membros superiores e inferiores, mas os biarticulares ao intervirem em duas articulações assumem um papel de particular importância na associação do movimento nas articulações que atravessam, através da sua acção tendinosa (Correia et al., 2003) e na transferência de energia mecânica entre diferentes segmentos.

A actuação dos músculos biarticulares pode acontecer em quatro formas distintas: em acção monoarticular na articulação proximal quando a distal permanece fixa; em acção monoarticular na articulação distal quando a articulação proximal permanece fixa; em acção biarticular como Ag sobre as duas articulações; ou em acção biarticular como Ag em uma articulação e Antg na outra articulação.

A relação funcional entre músculos monoarticulares e biarticulares situa-se na capacidade de transferência de energia entre articulações, papel assumido pelos segundos, e aos primeiros a responsabilidade de gerar forças com grandes velocidades de contracção, estando estes factores associados aos processos de coordenação neuromusculares entre estes dois grupos (Van Bolhuis et al., 1997; Virji-Babul, et al., 1995; Sergio et al., 1995).

3.3. Ciclo Muscular de Alongamento–Encurtamento.

É pouco comum que uma acção motora natural se inicie a partir de uma posição estática. Normalmente verifica-se a pré-activação muscular, à qual se segue um alongamento e por último o encurtamento muscular que concretiza a acção motora efectiva (Santos, 1995; Kyrolainen, 1995).

A combinação de acções musculares de alongamento (excêntricas) seguidas de encurtamento (concêntricas), caracterizam o padrão muscular funcional natural designado

por ciclo muscular de alongamento–encurtamento (CMAE), sendo este padrão comum em tarefas de alto nível de execução, em que é referido como vantagem desta estratégia a possibilidade do músculo poder executar mais trabalho positivo se for alongado activamente antes que se permita o seu encurtamento. O resultado desse CMAE é que uma maior quantidade de trabalho é realizada durante a contracção concêntrica do que se o músculo simplesmente realizasse uma contracção concêntrica por si só (Enoka, 2001).

Uma pré-activação Ag, e por vezes Antg, prepara o complexo músculo-tendinoso para o forte alongamento que antecede o encurtamento, controlando em antecipação o CMAE, o que poderá significar a sua pré-programação nas estruturas centrais do sistema nervoso, fazendo parte do programa motor dessa acção.

Outro ponto de grande importância, verificado com a pré-activação é a produção de tensão, permitindo reunir condições para que seja armazenada e utilizada grande quantidade de energia elástica durante a fase concêntrica do movimento, sendo assim realizado um movimento mais potente e económico.

Enoka (2001) apresenta este ganho energético como tendo inicialmente origem na contracção excêntrica, que ao sobrecarregar o elemento elástico em série, produzindo o seu alongamento, promove uma transferência de energia da carga para o elemento elástico em série, o que representa um armazenamento de energia elástica. Por outro lado, quando solta, a estrutura molecular elástica irá utilizar essa energia para retornar à sua forma original e, com a implementação de uma contracção concêntrica, a energia elástica armazenada pode ser usada para contribuir para a contracção com encurtamento.

3.3.1. Transição Alongamento–Encurtamento Muscular.

A abordagem aos mecanismos associados ao CMAE efectua-se considerando o complexo músculo-tendinoso (CMT), segundo um modelo mecânico do músculo esquelético (Hill, 1950, 1938) em que se verifica a existência de três elementos: o elemento contráctil (EC), formado fundamentalmente pelas proteínas contrácteis e caracterizado pelas relações de força-alongamento e força-velocidade; o elemento elástico em paralelo (EEP), constituído pelas membranas musculares e o tecido conjuntivo que formam a estrutura elástica passiva, não esquecendo o papel da proteína titina como reguladora do comprimento do miofilamento de miosina e, em parte, pelas propriedades elásticas do sarcómero; o elemento elástico em série (EES), é fundamentalmente constituído pelos tendões em conjunto com o tecido conjuntivo que se encontra junto às proteínas contrácteis

(miosina e actina que formam as pontes cruzadas) das miofibrilhas e formam o componente elástico activo.

O comportamento do EEP assemelha-se a um elástico estirado em que se verifica alteração da curva força-alongamento com a variação da sua tensão e alongamento, apresentando um comportamento não linear e dependente do nível de activação dos restantes elementos contrácteis do CMT (Silva, 2003; Santos, 1995).

Os ganhos mecânicos do alongamento muscular prévio ao encurtamento, estão associados à restituição da energia elástica, isto é, quando se verifica um estiramento em um músculo activo, à semelhança do que acontece em acções musculares excêntricas, há uma acumulação de energia elástica nos EES devido à tensão criada. Esta energia, durante a fase mecânica de encurtamento, será utilizada. Este mecanismo evidencia o aumento de eficácia mecânica proporcionado pelo CMAE (Nagano et al., 2004).

Em contracções musculares de características isométricas, o músculo activo não modifica o seu comprimento, mas verifica-se um aumento de tensão provocado pelo EC que alonga o EES proporcionalmente ao encurtamento interno das proteínas.

Nas contracções do tipo dinâmico, verifica-se um aumento de tensão muscular devido a alterações provocadas no EES em conjugação com os componentes viscosos do músculo, verificando-se uma reacção dos componentes visco elásticos do CMT à velocidade de contracção. Se a contracção muscular apresenta características excêntricas, a velocidade de alongamento promove um aumento da tensão muscular, devido essencialmente ao EC, já que a força necessária para romper as pontes cruzadas das proteínas é superior à verificada em contracções isométricas, onde o músculo mantém um comprimento constante (Winter, 1990).

Em acções motoras de características explosivas em que se verifica o CMAE, na fase de alongamento, de acordo com o modelo de Hill (1950, 1938), o EES é um dos responsáveis pelo ganho de energia a ser utilizada no encurtamento, mas a transição alongamento - encurtamento só será eficiente se for breve, e estando dependente do grau de *stiffness* muscular alcançado no alongamento. Ao acontecer um grau de *stiffness* muscular de pequena amplitude, em que o tempo de transição entre o alongamento – encurtamento é reduzido, reúnem-se as condições para uma melhor transmissão de força no CMAE (Santos, 1995). No entanto, não é totalmente pacífico que sejam as EES os principais responsáveis por este ganho energético, como tem sido referenciado em diversos

estudos (Fukashiro et al., 2006; Böhm et al., 2006; Ugrinowitsch e Barbanti, 1998; Fukunaga et al., 1996;).

Sendo o *stiffness* muscular a capacidade de resistir ao alongamento, é um fenómeno transitório dependente do tempo de vida das pontes cruzadas, deixando de existir logo após o alongamento.

O grau de *stiffness* muscular é proporcional à força inicial verificando-se em contracções excêntricas uma diminuição do *stiffness* devido à ruptura das pontes cruzadas, sendo a energia que por estas tinha sido acumulada, dissipada sob a forma de calor. A energia acumulada nas pontes cruzadas só se encontra disponível para promover o encurtamento muscular enquanto estas estiverem fechadas.

Assim, a curta transição entre alongamento – encurtamento muscular e um grau de *stiffness* muscular de pequena amplitude consideram-se como condições positivas para uma melhor transmissão de força no CMAE (Santos, 1995; Kyrolainen, 1995)

3.3.2. CMAE – Controlo Nervoso.

O *stiffness* muscular adequado possibilita gerar energia elástica e armazena-la ao nível dos tendões de uma forma óptima, permitindo a sua utilização no processo de encurtamento muscular no decorrer do CMAE.

O controlo nervoso, da responsabilidade do SNC, na sua componente reflexa de gestão da actividade muscular a desenvolver na acção motora, onde o reflexo miotático e miotático inverso assumem um papel regulador da actividade Ag e Antg, colabora assim no controlo da acção motora.

Assim, verifica-se que quando o Ag é activado o Antg desempenha uma função determinante na regulação do movimento, como acontece em movimentos balísticos em que o Antg frena o movimento protegendo o complexo articular.

Quando da realização de uma acção motora em que o CMAE se encontra presente, os circuitos reflexos com origem no fuso neuromuscular (FNM) e nos órgãos tendinosos de Golgi (OTG), contribuem para o ajustamento muscular provocado pelo alongamento do músculo (Nagano et al., 2004; Ugrinowitsch e Barbanti, 1998; Fukunaga et al., 1996).

O estiramento das fibras intrafusais promove a estimulação das fibras sensitivas Ia e II com origem nos receptores primários e secundários do FNM, em que as fibras Ia, sensíveis ao grau e velocidade do estiramento e com apenas uma sinapse no seu trajecto, através de uma ramificação, intervêm muito rapidamente no motoneurónio alfa, que

promove a contracção muscular como reflexo de alongamento. Mas as fibras Ia promovem a inibição recíproca sobre o músculo Antg, através das suas ramificações que terminam no interneurónio inibitório Ia, que actua no motoneurónio alfa do músculo Antg.

Por outro lado, as células de Renshaw recebem uma influência excitatória de ramos colaterais do motoneurónio alfa, que vão exercer uma acção inibitória no motoneurónio alfa e no interneurónio Ia, mecanismo conhecido como inibição recorrente, o que sugere uma facilitação da co-activação Ag e Antg.

O OTG ao enviar de forma contínua informação sobre a intensidade da contracção muscular através das fibras sensitivas Ib, direccionadas ao interneurónio inibitório Ib, indo este actuar no motoneurónio alfa de forma inibitória, promove o relaxamento muscular.

Não menos importante, o motoneurónio gama que ao receber a intervenção dos centros superiores, através da inervação das fibras interfusais do FNM, promove um ajustamento constante do seu estiramento, formando um mecanismo de servo-assistência que controla de forma muito eficaz as acções musculares.

No CMAE, os mecanismos nervosos que o regulam devem ser considerados como interdependentes no controlo que executam, as informações fornecidas pelos diferentes mecanismos são complementares, controlando as acções de alongamento, aumentando a capacidade de resistência ao alongamento e em simultâneo podendo diminuir esta capacidade controlando assim o *stiffness* muscular e potenciando o encurtamento.

A informação referente ao alongamento com origem no FNM aumenta a capacidade muscular de resistência ao alongamento, em oposição, a informação proveniente do OTG tende a diminuir essa capacidade. Desta interacção resulta a capacidade do músculo resistir a um alongamento, do que se depreende da importância do reflexo de alongamento (reflexo miotático) com origem no FNM associado à regulação do *stiffness* muscular.

Komi e Gollhofer (1997) referem que a acção do reflexo de alongamento pode aumentar o grau de *stiffness* da estrutura músculo-tendinosa e fazer com que haja um aumento da força gerada assim como do seu grau de desenvolvimento, no entanto estes ganhos encontram-se limitados para alongamentos que se situam entre os 6% e os 8% no complexo músculo-tendinoso.

Desta forma verifica-se a interdependência das estruturas elásticas do CMT e dos reflexos activos no desempenho eficaz do CMAE, e a participação deste nas acções motoras.

4. Modelos e Hipóteses de Controlo Motor

4.1. Modelos *Open Loop* e *Closed Loop*.

A necessidade de compreensão e explicação das diversas situações motoras, assim como a sua complexidade, levaram ao surgimento de modelos explicativos dos processos subjacentes ao controlo motor, que no entanto, ao longo do tempo têm revelado algumas limitações na sua capacidade de explicação da totalidade de movimentos que fazem parte do nosso comportamento motor.

As primeiras abordagens ao estudo da problemática do movimento e da acção motora, assim como das componentes neuromusculares envolvidas na acção motora, surgiram em finais do século XIX no âmbito da psicologia e da neurofisiologia (Adams, 1987; Schmidt, 1988; Godinho et al., 1997).

Woodworth (1899) com os seus trabalhos sobre a mão e braço em movimentos rápidos introduz inicialmente o modelo de controlo dos movimentos em “*open loop*”, e a possibilidade de serem efectuadas correcções ao movimento durante a sua realização através do modelo “*closed loop*”. Por outro lado relaciona o erro, ou diminuição de precisão do movimento com a velocidade a que este é realizado e com a informação visual.

Sherrington (1857-1952), ao abordar os movimentos voluntários e reflexos no âmbito das neurociências e ciências do movimento (Stuart et al., 2001; Schmidt, 1988) introduz novos conceitos classificativos e terminológicos que se tornam fundamentais para a análise e compreensão da coordenação neuromuscular (Godinho et al., 1997). Neste contexto, numa abordagem do estudo da célula de dentro para fora, destaca-se a introdução da noção de sinapse nos sistemas e nas neurociências do comportamento, a promulgação da inibição como um traço ubíquo nos mecanismos de controlo do Sistema Nervoso Central (SNC) em que esta se apresenta como um processo activo de controlo.

Na análise das complexas características do sistema motor humano, nos seus inúmeros graus de integração e de interacções não lineares, Bernstein no seu artigo “*The Problem of Interrelation Between Coordination and Localization*” citado por Bongardt (2001), mostra-nos através de análise matemática da organização do movimento que nem o controlo central nem a interacção periférica sozinhos podem gerar *performances* normais e não patológicas. Esta dedução matemática permite a Bernstein a introdução dos conceitos de que os circuitos integrados de informação se realizam dentro e entre o centro e a

periferia do sistema de movimento, deixando a ideia de arco reflexo e introduzindo a noção de círculo reflexo.

Para Bernstein (1967) a problemática da complexidade da organização dos movimentos suscitava a necessidade de saber como decompor o sistema para revelar e perceber a sua organização mantendo a sua integridade. Este problema resolve-o através da discriminação entre a estrutura espacial e temporal da coordenação, e localização dos movimentos (Bongaardt, 2001).

Bernstein (1967) refere que a capacidade do sistema controlar o movimento e os graus de liberdade a ele associados acontece pelo “congelamento” de graus de liberdade não necessários, libertando-os progressivamente à medida que a estrutura motora se encontra estabilizada, ou pela inclusão de graus de liberdade nos movimentos de maior complexidade.

Esta estratégia coordenativa permite ao sistema de controlo a possibilidade de escolha de estratégias mais adequadas de realização do movimento que podem estar associadas com o nível de aprendizagem, com o objectivo da acção motora ou mesmo com a eficiência do sistema (Haehl et al., 2000, Hodges et al., 2005).

Na problemática sobre a capacidade de controlo do movimento e dos mecanismos a ele associados, a cibernética (Wiener, 1948) coloca o *feedback* (informação de retorno) como uma “peça” fundamental para a modificação do comportamento motor e seu controlo, sendo a informação de retorno resultante da acção motora uma condicionante importante da aprendizagem realizada pelo indivíduo (Godinho et al., 1997).

Assim, caminhamos para a realização de acções motoras reguladas em circuito fechado, teoria denominada de “*closed-loop theory of motor learning*” elaborada e desenvolvida por Adams (1971), que preconiza a existência de utilização do *feedback* num ciclo fechado de informação, ou seja, no sistema motor, a possibilidade de ser utilizada a informação de retorno produzida durante a acção, regulando e ajustando o movimento ao objectivo pretendido, durante a sua realização.

Nesta teoria enquadra-se a condicionante temporal de realização do movimento, isto é, a possibilidade de correcção (utilização do *feedback* durante o movimento) está dependente da duração da acção motora, o que torna a sua aplicação limitada aos movimentos lentos.

Poderemos encontrar um paralelismo interpretativo para esta teoria no modelo de processamento da informação desenvolvido a partir dos anos 60 pela psicologia.

Este modelo, proposto inicialmente por Welford (1968) e desenvolvido por diversos investigadores da área da psicologia (Sternberg, 1969; Theios, 1975; Whiting, 1979; Schmidt, 1988) evidencia os processos e operações cognitivas subjacentes à aprendizagem motora, tais como a percepção, a atenção, a memória, estando o seu desenvolvimento estruturado em cinco momentos que se iniciam no aparecimento do estímulo prolongando-se até à execução da resposta (Fig. 1).

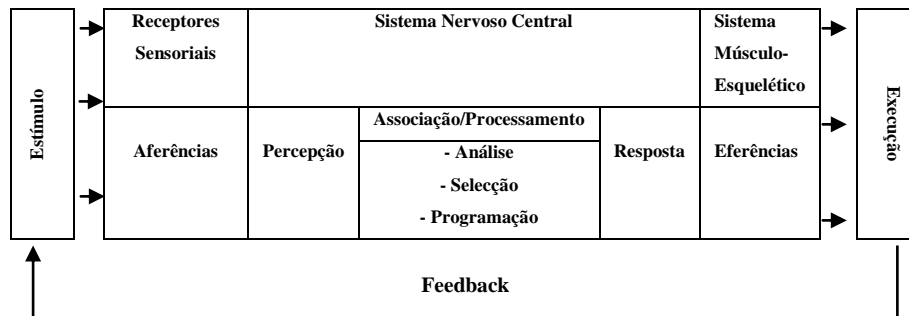


Figura 1 - Modelo da "performance" humana

O modelo pretende, dar a conhecer os mecanismos e processos subjacentes à "performance" do sujeito, assim como conhecer o que acontece entre o estímulo e a execução da resposta ao estímulo, com a intervenção de *feedback* na correcção da resposta (Alves, 1996).

A principal característica subjacente a este modelo centra-se no facto da existência da informação de retorno, sendo esta utilizada na reestruturação da resposta em execução, o que conduz esta teoria para a interpretação e compreensão da aprendizagem de tarefas motoras novas, onde o *feedback* surge como factor primordial na redução do erro, e também como elemento desencadeador do movimento seguinte.

Por outro lado, os modelos baseados em mecanismos de *open-loop*, ou seja, sem a utilização da informação do *feedback* na correcção da acção motora durante a sua execução (Adams, 1971), são inicialmente apontados como resposta para a estruturação de movimentos rápidos, ditos balísticos, em que a informação de retorno não tem intervenção em tempo útil na acção motora em desenvolvimento.

4.2. Modelo *Open-Loop* e Conceito de *Programa Motor*.

Na essência dos modelos em *open-loop* está a noção de programa motor (PM), pressupondo o armazenamento em memória da sequência de comandos e variáveis específicas de um determinado movimento (Henry & Rogers, 1960).

Segundo Keele (1968) o PM é uma sequência de comandos existentes na memória que serão estruturados antes do início do movimento e que vão promover a sua realização sem a intervenção de retroacção periférica, realizando-se o movimento em circuito aberto.

Desta forma, a noção de PM é associada a um programa central responsável pela organização dos graus de liberdade característicos de um movimento, procurando responder aos seus objectivos e ao seu padrão global, encontrando-se discriminado a sequência de activação muscular, o momento e a intensidade das activações (Schmidt, 1975; Simonet, 1985).

Porém, esta noção colide com a capacidade do SNC guardar em memória um PM para cada acção (*storage problem*), como referem MacNeilage (1970) e Schmidt (1975) salientando aspectos económicos, de aprendizagem e desenvolvimento de novas acções motoras (Schmidt, 1988).

Na resolução dos problemas associados ao conceito de PM (*novelty problem* e *storage problem*) Schmidt (1975) através da hipótese da teoria do esquema apresenta um modelo híbrido de controlo e aprendizagem do movimento, ou seja, a coexistência da utilização de processos de controlo em *closed-loop* quando se trata de acções motoras lentas e processos de controlo em *open-loop* para acções motoras balísticas, o que conduz à reformulação do conceito inicial de PM sendo introduzida a noção de programa motor genérico (PMG) (Schmidt, 1975, 1985, 1988, Schmidt et al., 1999, 2000).

Desta forma o PMG é entendido como uma estrutura abstracta da memória que apresenta elementos invariantes, e que após activada se comporta como um programa motor responsável pela implementação e realização de uma determinada classe de movimentos que se caracterizam por um padrão comum, sendo a sua execução efectuada em circuito aberto (Godinho et al., 1999; Correia, 1994).

As informações invariantes do PMG garantem a estrutura comum dos movimentos controlados pelo mesmo PM, não sofrendo alteração por mudança da situação, sendo de salientar três parâmetros de invariantes:

- Ordem dos Elementos – onde se regista a representação no PMG da sequência de acções a ser executadas por diferentes grupos musculares;
- Estrutura Temporal das Contrações – em que é fundamentalmente assegurada a manutenção da proporcionalidade temporal relativa entre as diferentes partes ou componentes do movimento quando este se realiza com velocidades/duração variáveis. Isto é, o tempo de duração de um movimento

controlado pelo mesmo PM pode variar, mas condicionado a um factor de escala realizado em função da duração total do movimento;

- Força Relativa – refere a manutenção de uma proporcionalidade constante entre as intensidades contrácteis dos diferentes grupos musculares intervenientes no movimento, independentemente do tempo e amplitude do movimento realizado.

A variação e individualização do movimento resulta da especificação efectuada pelo sujeito dos parâmetros a aplicar à estrutura invariante do PMG, o que conduz às diferentes escolhas efectuadas por sujeitos treinados e não treinados (factor aprendizagem) na realização de um movimento, mas em que estas escolhas não alteram a integridade do PMG em implementação.

A especificação da resposta centra-se na adequação de três parâmetros:

- Selecção de articulações e músculos envolvidos no movimento – a necessidade de discriminação de articulações segmentares e músculos a actuar no movimento. Esta necessidade verifica-se por o PM não conter como factor invariante, informação específica para o controlo de músculos em particular, mas sim no controlo de diferentes músculos e segmentos (Godinho et al., 1999; Correia, 1994).
- Duração geral do movimento – este parâmetro determina a duração total do movimento, conseqüentemente a sua velocidade, considerando no entanto que os restantes componentes sofrem um escalonamento automático e proporcional. Segundo Schmidt (1988) este parâmetro poderá estar dependente do encéfalo e desenvolver um sinal que despoleta uma oscilação neural no SNC, em que a duração e intensidade do sinal determinam o tempo de oscilação, e a velocidade dessa oscilação, podendo este parâmetro ser referido como velocidade geral (Correia, 1994; Schmidt, 1975, 1985, 1988, Schmidt & Wrisberg 1999, 2000; Quinn & Sherwood, 1983; Ruitenbeek, 1984; Carter & Shapiro, 1984).
- Força geral – adequa de forma proporcional as intensidades contrácteis e a produção de força dos músculos intervenientes na acção motora relativamente ao tempo de duração do movimento e sua amplitude. Correia (1994) refere que com o mesmo PM, numa estrutura temporal estável, será possível realizar movimentos com diferentes amplitudes e velocidades, onde se verificaria um

aumento global da amplitude dos diferentes eventos neuromusculares. Assim, como referem Schmidt (1975, 1985, 1988), Schmidt & Wrisberg (1999, 2000), Correia (1994) e Quinn & Sherwood (1983), os parâmetros de força geral e duração, no seu comportamento combinado de interdependência, têm como resultante a velocidade e amplitude do movimento.

4.3. O Programa Motor e o Modelo *Impulse Timing*.

Em associação com a estruturação teórica do PMG e com os seus parâmetros invariantes, fundamentalmente com a estrutura temporal das contracções, encontra-se a hipótese de “*impulse-timing*” de Schmidt (1985) que apresenta o PM como responsável pelo controlo do tempo das activações musculares e das suas intensidades, através do controlo do disparo dos motoneurónios (MN) para os músculos.

Assim, no electromiograma (EMG) podem ser observados os padrões de contracção muscular com origem nos padrões de controlo central, com a identificação do início, duração e intensidade dos impulsos reflectindo-se na definição da trajectória dos segmentos corporais (Correia, 1994).

Anteriormente, Wallace (1981) conduz a aplicação do modelo “*impulse-timing*” a nível neuromuscular, aos movimentos discretos e de características balísticas, ao sugerir que nas variações do tempo total do movimento se verifica uma proporcionalidade de variação na duração temporal dos diferentes componentes, sem que a estrutura temporal dos impulsos de EMG seja alterada mas, reflectindo-se na alteração da intensidade dos impulsos do EMG.

Posteriormente, diversos trabalhos procuram confirmar o efeito de escala. Wallace e Wright (1982) em estudos realizados em movimentos com dois tempos de duração e duas amplitudes diferenciadas, verificaram que a duração dos impulsos no EMG, apresentavam um comportamento independente da amplitude e com a variação a acontecer em função do tempo total do movimento, não tendo no entanto sido confirmada a manutenção da proporcionalidade relativamente ao tempo total do movimento e a duração dos impulsos EMG.

Em trabalhos efectuados com movimentos rápidos, Schmidt e McGrown (1980) introduzem a variação da massa a movimentar por alteração da carga oposta ao movimento, verificando que esta provoca alteração no tempo do total do movimento por consequência à alteração da massa.

Por outro lado, na análise de curvas de aceleração, velocidade e actividade muscular agonista através do EMG, verificaram que as curvas variavam com o tempo de movimento, mas sendo constatado que esta variação não correspondia em proporcionalidade ao tempo de movimento entre eventos (Gielen et al., 1985; Shapiro & Walter, 1986; Zelaznik et al., 1986), ou como foi verificado acontecer na relação entre o instante de pico de aceleração/tempo de movimento, em que surgia uma constância do instante do pico, independentemente do tempo do movimento realizado (Zelaznik et al., 1986).

Também no gesto de lançar, num estudo realizado por Correia (1994) com o lançamento de dardos com diferentes solicitações de velocidade e precisão, o autor não encontrou nenhum efeito de escala a reflectir-se nos diferentes eventos musculares.

A concepção e estruturação do modelo “*impulse-timing*” tem como base um sistema de controlo com alguns pressupostos, dos quais:

- a noção do controlo efectuado pelo sistema dos impulsos de activação muscular com a sua modulação temporal e espacial;
- a previsibilidade comportamental da estrutura temporal dos impulsos devido a uma estável proporcionalidade entre a duração dos eventos cinemáticos e a duração das activações musculares;
- os acréscimos de velocidade podem ser acompanhados pela manutenção ou diminuição da duração dos impulsos musculares, estando esta variação dependente apenas do aumento da sua amplitude.

Tendo em consideração os pressupostos enunciados, os trabalhos referenciados não permitem a confirmação do modelo “*impulse-timing*” e a invariância da estrutura temporal, quando aplicados a movimentos rápidos de características lineares.

Assim, caminha-se ao encontro de outra concepção explicativa de controlo neuromotor (modelo *equilibrium-point*), com a introdução da noção de selecção por parte dos comandos motores centrais da posição final da articulação, com o controlo motor a estar dependente das propriedades dinâmicas do sistema muscular (modelos *mass-spring*).

4.4. Hipótese *Equilibrium-Point* e Modelo *Mass-Spring*.

O modelo “*impulse-timing*” conduz-nos para a noção de que o PM gerado pelos comandos centrais actua numa inércia, sendo necessário conhecer o posicionamento inicial do segmento no movimento, tendo como ponto crítico para a determinação da trajectória a

quantidade de força programada, o *timing* e a duração dessa força, e não considerando as propriedades visco-elásticas do músculo.

Por outro lado, os modelos de “*mass-spring*” (com origem em Feldman, 1966a) não tomam em consideração o estado inicial do segmento, ou o controlo dos impulsos musculares quanto ao seu início e duração, sendo no entanto crítico para o controlo efectuado a nível central, o ponto final do movimento, estabelecido através do equilíbrio entre músculos agonistas e antagonistas (de Lussanet et al., 2002).

Quanto ao início do movimento, o modelo preconiza a utilização de influências descendentes realizadas sobre os motoneurónios (MN) alfa e/ou gama que conduzirão à produção de alterações sobre as propriedades visco-elásticas do músculo, dando-se assim início ao movimento (Correia, 1994).

Este último componente do modelo “*mass-spring*” tem suscitado diversas interpretações e desenvolvimentos, onde a hipótese de servo-controlo de Merton (1953) em movimentos voluntários identifica a utilização de mecanismos neurofisiológicos dos reflexos musculares, ao propor que o início do movimento acontece por alteração do limiar do fuso neuromuscular (FNM) por acção da activação do MN gama pelos comandos centrais, programando uma nova posição do músculo e, em simultâneo promove a inibição dos MN antagonistas através de inervação recíproca (Latash, 1993, 1998a; Correia, 1994).

Esta hipótese de controlo do movimento efectuado pela modulação dos MN gama encontra oposição em trabalhos desenvolvidos relativamente à coactivação alfa/gama na iniciação de movimentos (Gottlieb et al., 1970), assim como em estudos realizados com a privação de informação muscular aferente em macacos e humanos, que no entanto continuaram a realizar movimentos com sucesso (Sanes & Jennings, 1984; Garland et al., 1972; Rothwell et al., 1982; Cooke et al., 1985).

Um outro mecanismo associado ao modelo “*mass-spring*” propõe que o controlo efectuado pelos centros superiores se verifica preferencialmente sobre os MN alfa (Bizzi et al., 1976, 1982; Polit Bizzi, 1978, 1979; Abend et al., 1982; McIntyre & Bizzi, 1993), contrariamente ao sugerido por Merton, de onde resultaria uma actuação de fixação de um determinado nível de activação dos MN alfa, em que cada nível de activação teria correspondência numa inclinação da curva força/comprimento (Latash, 1993, 1998a).

4.5. Modelo *Lambda*.

Em resultado da análise desenvolvida sobre a curva força/comprimento em animais (Matthews, 1959), e de movimentos uniarticulares e unidireccionais em humanos (Asatryan & Feldman, 1965; Feldman, 1966a, b), emerge o modelo lambda (λ) (Feldman, 1974, 1976, 1982, 1986, Feldman et al., 1990; Latash, 1993, 1998a).

Neste modelo, o resultado encontrado mais importante foi a inexistência de intercepção das curvas gravadas com os comandos descendentes fixados nas diferentes posições iniciais do membro. Estas curvas (força/comprimento) foram designadas por características invariantes (CIv) e é através da alteração das CIv, isto é, a escolha de uma relação força/comprimento diferente nos músculos agonistas e antagonistas, que acontece a realização do controlo descendente de uma articulação.

A falta de intercepção das CIv introduz a descrição monoparamétrica do processo de controlo de um músculo, onde lambda é a única variável controlada pelo comando central (Latash, 1993, 1998a; Correia, 1994).

O comando motor central, através da modulação do limiar do reflexo tónico de estiramento (λ), intervém no comprimento inicial do músculo, escolhendo assim uma curva característica de força/comprimento para o músculo, o que promove a transferência de uma CIv para outra.

O comprimento e força do músculo também estarão dependentes da carga periférica, em que esta pode ser descrita por uma curva no mesmo plano. O ponto de intercepção da CIv e da característica da carga na curva é um ponto de equilíbrio (PEq) e define o valor do comprimento e força do músculo em condições estáticas. A noção de PEq (hipótese “*equilibrium-point*”) é central ao modelo λ porque realça as propriedades elásticas do sistema. Mudanças em alguma das curvas, força, comprimento ou de carga, provocará mudanças no ponto de intercepção entre elas e conseqüentemente no PEq conduzindo a mudanças nos valores de comprimento e força (Latash, 1993, 1998a).

Relativamente aos restantes modelos de “*equilibrium-point*”, o modelo λ destaca-se pela utilização da informação proprioceptiva no controlo do movimento, de forma diferenciada do modelo de *closed-loop*, assumindo quanto aos mecanismos neurofisiológicos que o reflexo tónico de estiramento, contando com as CIv, íntegra todos os anéis reflexos que podem ser influenciados por níveis de actividade ou excitabilidade dos MN gama, MN alfa e interneurónios, não discriminando uma estrutura anatómica como sendo a mais importante, como se verifica nos modelos alfa ou gama. Sendo também

de considerar que o *feedback* com origem em receptores não musculares pode desenvolver um papel importante na definição da forma das CIV (Feldman, 1986), assumindo que os comandos centrais para os movimentos voluntários realizam uma combinação equilibrada dos sinais para todos os tipos de neurónios medulares, resultando níveis de activação do músculo, força e movimento, como consequência dos comandos centrais (Latash, 1998a).

Originalmente o modelo λ baseou-se em dados de experiências “estáticas”, em que o investigador tentava “congelar” os sinais descendentes, o que conduziu a que o modelo fosse aplicado apenas na análise de posições estáticas (Day & Marsden, 1982; Enoka, 1983, 2001; Atkeson, 1989).

Posteriormente o modelo procura integrar a sensibilidade dinâmica dos receptores do fuso neuromuscular (FNM), o que permitiu a análise do movimento realizado com diferentes velocidades (Adamovitch & Feldman, 1984; Abdusamatov & Feldman, 1986; Feldman, 1986; Abdusamatov et al., 1987), tal como tinha sido anteriormente sugerido por Paillard e Brouchon (1974) ao referirem que o ponto de calibração final de um movimento poderia ter sido condicionado por um sinal de velocidade incorporado na descarga dinâmica do FNM. A mobilização activa dos músculos efectuada por coactivação dos MN alfa e gama possibilita ao FNM uma actuação de receptor de velocidade.

Neste âmbito, Al-Falahe et al. (1991) ao estudarem movimentos rápidos referem a existência de um aumento da descarga no FNM do músculo agonista no início da contracção, evidenciando uma coactivação alfa/gama. Por outro lado, Sittig et al. (1987) propõem a existência de um mecanismo de controlo com o uso de sinais aferentes de velocidade que permite decidir quando parar o movimento.

4.6. Hipótese *Dual-Strategy*.

No estudo de padrões cinemáticos e EMG em movimentos monoarticulares rápidos, unidireccionais, com um grau de liberdade, Gottlieb et al. (1989) e Corcos et al. (1989) apresentam a hipótese de *Dual-Strategy*, em que o controlo efectuado na activação dos grupos de motoneurónios, não considerando a intervenção dos arcos reflexos, é realizado por uma de duas estratégias possíveis:

- os movimentos realizados em diferentes distâncias e com diferentes níveis de inércia, sem constrangimentos no tempo de realização do movimento, são controlados pela *speed-insensitive strategy* (estratégia insensível à velocidade – EIV)

- os movimentos que necessitam de controlo específico sobre a velocidade, como aqueles que são realizados para alvos com diversas dimensões ou com tempos de realização específicos, são controlados pela *speed-sensitive strategy* (estratégia sensível à velocidade – ESV)

De acordo com os autores, estas duas estratégias reflectem-se no comportamento do electromiograma dos músculos agonistas e antagonistas, quanto ao momento em que se verifica acontecer o *onset* do músculo agonista e do músculo antagonista, a duração do tempo de activação e o integral dessa activação, assim como o integral dos 30 ms iniciais de activação muscular. Por outro lado é também considerado a aceleração e o tempo de movimento e suas relações com a activação muscular.

Como resultado dos estudos efectuados foi verificado que os movimentos realizados em distâncias diferentes ou com diferentes resistências, sem instrução de controlo de velocidade (EIV), são realizados prolongando a duração da activação dos MN, com uma intensidade de activação constantes e, atrasando o início da activação dos músculos Antg, verificando-se menos tempo em cocontração Ag-Antg, ou seja, prolonga-se o período de latência Antg com o aumento da amplitude do movimento. Foi verificado que a inclinação inicial do EMG Ag nos 30 ms não varia por acção da amplitude ou da resistência devido à constante intensidade de activação dos MN. O mesmo acontece em relação à aceleração inicial, caso os níveis de inércia sejam constantes.

Nos movimentos em que o requisito fundamental é a velocidade, por realização do movimento numa amplitude diferenciada no mesmo intervalo de tempo, ou por alteração das exigências de precisão, de acordo com ESV, o controlo centra-se na modificação da intensidade do impulso dos MN Ag, e na diminuição da latência Antg, sendo estes activados mais cedo, aumentando o período de cocontração Ag-Agnt.

O EMG apresenta uma variação da inclinação inicial (primeiros 30 ms), sendo esta acompanhada por variação da aceleração inicial. Também o pico máximo de intensidade e a área de Ag apresentam variabilidade, no período em que acontece o impulso e em que este é constante (Gottlieb et al., 1989; Pfann et al., 1998; Gottlieb, 1998, 2001; Corcos et al., 1989; Shapiro et al., 2005).

Assim conclui-se que a ESV sugere que nos movimentos balísticos a velocidade do movimento está relacionada com o aumento da intensidade de activação dos músculos Ag e Antg, com os Antg a serem solicitados mais cedo. O recrutamento e frequência de

descarga dos MN serão a condicionante à graduação da velocidade do movimento a executar.

Latash (1993, 1998a) refere como condicionante a esta hipótese a não consideração inicialmente da intervenção nos MN dos sinais descendentes com origem no cérebro, e os sinais de origem nos receptores proprioceptivos que induzem alterações reflexas na sua actividade e que terão reflexo no padrão do EMG.

A problemática da não integração da informação periférica na hipótese *Dual Strategy* é ultrapassada com o pressuposto de que a prática permite aos centros de controlo superiores anteciparem a contribuição aferente para o movimento, ajustando os comandos centrais, criando um impulso de excitação adequado aos MN alfa. Assim, a intensidade de excitação dos MN Ag, produzida a nível central, será a responsável pela alteração da velocidade do movimento, onde o seu aumento se repercutirá num recrutamento mais rápido e num aumento da frequência inicial (Correia, 1994).

A ideia básica da hipótese *Dual Strategy* é simples, ou seja, os movimentos podem ser realizados à mesma velocidade ou com diferentes velocidades. Nos movimentos realizados à mesma velocidade o seu controlo é realizado pela EIV, enquanto os movimentos realizados em diferentes velocidades o controlo é efectuado por ESV. No entanto, a velocidade do movimento em função do tempo depende das condições externas, levando a que a hipótese *Dual Strategy* esteja implicada não com a velocidade actual do movimento, mas com uma variável interna que é usada pelo cérebro para variar a velocidade do movimento, ou seja, quando um sujeito é solicitado a executar um movimento à velocidade máxima, o sujeito que executa o movimento tem como referência o que internamente o seu cérebro define como velocidade máxima no momento, para o seu sistema. (Latash, 1998a).

5. Modelos e Hipóteses em Movimentos Multiarticulares.

Os modelos e hipóteses de controlo do movimento anteriormente abordados, na sua generalidade, foram desenvolvidos através do estudo e análise de movimentos monoarticulares unidireccionais, o que diverge da realidade do dia-a-dia e dos acontecimentos da prática desportiva, concretamente dos movimentos do karate, onde os

diversos segmentos interactivam na realização das acções motoras dos membros na realização dos gestos de defesa e/ou de ataque.

Coloca-se assim o problema de controlo de diversos segmentos articulados na realização de uma acção motora concreta e objectiva, e de como se realiza esse controlo.

A pesquisa realizada em movimentos multiarticulares unidireccionais não se revela profícua na produção de hipóteses e modelos explicativos para o controlo do movimento tal com se verifica acontecer para os movimentos monoarticulares, o que tem conduzido à utilização e aplicação das conclusões criadas para os movimentos monoarticulares nos movimentos multiarticulares, não sendo esta extrapolação a mais correcta por excessiva simplificação da análise possível de realizar (Berkinblit et al., 1986 a, b; Ivaldi et al., 1989; Flash, 1990; Hogan, 1990, Latash 1998a).

Latash (1993), referindo-se ao aumento da complexidade dos movimentos multiarticulares identifica dois grandes problemas. O primeiro relaciona-se com uma maior complexidade da descrição física do sistema periférico controlado, relacionado com o importante papel de novas forças actuantes e que geralmente são ignoradas em movimentos monoarticulares, como são os casos da força centrífuga e da acção de músculos biarticulares.

O segundo factor de complexidade refere-se ao Problema de Bernstein, relativamente ao excessivo número de graus de liberdade existentes, sendo verificado que o número de graus de liberdade do sistema mecânico periférico (membro) que executa a acção motora é superior ao necessário para a sua realização, o que cria um problema de escolha, ou seja, de como é que o Sistema Nervoso Central escolhe um determinado padrão de execução da acção motora num infinito número de soluções possíveis, considerando que este só controla um número limitado de variáveis independentes (graus de liberdade) (Latash, 1993, 1998a, b).

5.1. Modelo *Working Point*.

Através da análise de movimentos segmentares multiarticulares dirigidos a um alvo/objectivo, surge a noção de “*Working Point*” (Ponto de Trabalho – PT) (Latash, 1993, 1998a), cuja trajectória está directamente relacionada com a execução motora com sucesso.

O PT é normalmente referenciado como estando localizado na extremidade distal do conjunto de segmentos que realizam a acção motora ou sendo mesmo externo aos segmentos. Desta forma, o PT identifica a trajectória que o membro realiza até ao alvo, o

que, simplisticamente, conduz na análise do movimento à identificação do comportamento do PT em variáveis como a sua trajectória, velocidade e aceleração, sendo estas resultantes do comportamento cinesiológico dos diversos segmentos do membro.

Já nos estudos clássicos de Bernstein (1967), com ferreiros, foi demonstrado grande reprodutibilidade nas trajectórias do PT, em que nestes estudos o PT se localiza fora do corpo do ferreiro, quando estes repetiam sucessivamente o movimento de martelar. No entanto as trajectórias dos diferentes segmentos do membro não eram tão reprodutíveis, apresentando alguma variabilidade entre execuções. Sendo que esta variabilidade, ou seja, a sua redução, é um objectivo do treino na procura de uma melhor *performance*.

Assim, a variabilidade de trajectórias segmentares reflecte a possibilidade do SNC escolher diversos padrões semelhantes de controlo das variáveis, que no entanto, conduzem a que o PT descreva uma trajectória semelhante de gesto para gesto, permitindo a concretização do objectivo.

Nesta perspectiva, diversos estudos realizados em movimentos planares entre 1980 e 2000 (Morasso, 1981; Soechting & Lacquanti, 1981; Atkeson & Hollerbach, 1985; Kaminski & Gentile, 1986; Flash & Mussa Ivaldi, 1990, Shadmehr & Mussa-Ivaldy, 1994; Krakauer et al., 1999; Suzuki et al., 2000), sugerem que o sistema de controlo não se preocupa com o movimento em termos de articulações individuais, mas sim com o PT, identificando que as trajectórias de articulações individuais são menos reprodutíveis do que a do PT.

Por outro lado, estudos realizados sobre os aspectos coordenativos dos movimentos multiarticulares da escrita (Edelman and Flash, 1987), consideram que é criado nas estruturas centrais de controlo um plano topológico da trajectória com a definição básica dos aspectos cinemáticos, sendo então hierarquicamente os comandos traduzidos para linguagem de padrões de activação muscular. Esta abordagem caminha no sentido de uma hipótese geral de equilíbrio de trajectória (*General equilibrium trajectory hypothesis*).

Soechting (1984) e Cordo (1990) nos seus trabalhos sobre a escrita e quanto à variabilidade de trajectória dos segmentos e do PT suportam a ideia de que a trajectória do PT é a única variável directamente controlada, e que as trajectórias dos restantes segmentos do membro são subprodutos do programa principal.

Latash (1993, 1998a, b), em relação ao controlo de movimentos multiarticulares conclui que a trajectória do PT está mais directamente relacionada com a tarefa motora do

que as trajectórias das articulações dos segmentos que formam o membro, e que os movimentos mais complexos consistem de unidades mais elementares associadas entre si.

5.2. Hipótese *Equilibrium Trajectory*.

Hogan (1984, 1985) e Flash (1985, 1987, 1990) na explicação de como os mecanismos centrais controlam os movimentos multiarticulares, sugerem uma expansão da hipótese *Equilibrium-point* aplicada em movimentos monoarticulares para os movimentos multiarticulares, sendo esta nova hipótese referida como “*Equilibrium-Trajectory Hypothesis*”.

Esta hipótese pressupõe que o SNC crie uma imagem do deslocamento do PT ao longo da trajectória desejada, expressa nas coordenadas cartesianas externas. Durante a realização do movimento, o PT na trajectória virtual criada está sempre à frente da posição actual e real do PT no movimento, criando-se uma diferença entre o virtual e o real posicionamento do PT, o que permite às forças actuantes conduzir o PT (Ivaldi et al., 1985, 1989; Latash, 1998a).

Nesta abordagem, as forças musculares desenvolvidas não resultam do cálculo elaborado pelo SNC, surgem como resultado das deslocações do PT realizado no espaço cartesiano externo, reflectido na representação central do PT em deslocação para o objectivo (Soechting & Lacquaniti, 1983; van Sonderen et al., 1988, 1989). Assim, no controlo da trajectória do PT o SNC deve usar variáveis de controlo relacionadas com variáveis externas funcionais tais como as coordenadas do PT e o vector força gerado no PT (Latash, 1998a).

Ivaldi et al. (1989) referem que o planeamento central dos movimentos multiarticulares pode ser expresso em deslocações do PT no espaço externo, em que o SNC efectua uma “simulação passiva” do movimento a realizar a partir de uma posição estática, definindo um caminho a ser seguido pelo membro para uma nova posição pretendida.

Assim, nos movimentos multiarticulares, o SNC através dos seus mecanismos de controlo e coordenação actua sobre diversos conjuntos articulares e músculos, adequando a resposta às solicitações.

Nesta perspectiva, trabalhos fundamentalmente desenvolvidos com a utilização de rãs cuja medula espinal foi cortada ao nível cervical, impedindo dessa forma que os impulsos cerebrais chegassem aos segmentos caudais da medula vertebral, mas mantendo

intactos os mecanismos de controlo dos movimentos dos membros (Berkinblit et al., 1986 a, b; Curri & Stein, 1990; Giszter et al., 1989, 1990; Bizzi et al., 1991), permitiram verificar que no reflexo de esfregar, os programas motores ao nível da medula espinal não são formulados em termos de contracções individuais de músculos ou de movimentos individuais de articulações. Por outro lado, constataram a existência de correcções efectuadas no momento e de forma muito rápida aos padrões do movimento quando era promovida a alteração na localização do estímulo aplicado, o que pressupõe que estas correcções já estejam inseridas no programa motor.

Assim, é de salientar o papel da actividade reflexa e a variedade de respostas aos estímulos aplicados que induzem contracções musculares controlando diferentes articulações de um membro, ou mesmo em músculos do membro inverso, como se verifica acontecer no reflexo de flexão e no reflexo cruzado de extensão.

Por outro lado, a contracção muscular e a alteração no comprimento do músculo de um membro que cruza uma articulação conduz a um movimento articular, e conseqüentemente outros músculos que cruzam a mesma articulação verão alterados também o seu comprimento, o que nos solicita uma visão abrangente do controlo e coordenação motora.

Neste campo de actuação, a presença de músculos biarticulares inevitavelmente levará a que estes sejam também actores nesta intervenção, o que conduz à mobilidade das articulações adjacentes, aquelas que estão na área de intervenção dos músculos biarticulares e que organizacionalmente torna o controlo mais complexo (Smeets, 1994).

Segundo Latash (1998a), é de considerar que em movimentos que ocorrem frequentemente, os seus padrões possuem esquemas construídos que prevêm alterações dos parâmetros reflexos dos músculos envolvidos directa e indirectamente no movimento. Estas alterações tomam automaticamente em consideração os possíveis efeitos da intervenção dos músculos biarticulares, ajustando os parâmetros reflexos de todos os músculos em conformidade.

Em termos de modelo de controlo, de acordo com o modelo λ desenvolvido para movimentos monoarticulares, quando se verificar alterações nos λ 's relativamente aos músculos que controlam uma articulação, esta alteração repercute-se de forma automática em λ nos restantes músculos que controlam duas articulações.

Relativamente ao controlo dos movimentos multiarticulares efectuado pelas estruturas supra espinais, os diversos trabalhos desenvolvidos sugerem que o controlo

neuronal dos mecanismos centrais se foque em parâmetros relacionados com o PT do membro em movimento, concretamente a sua trajectória, em detrimento do controlo efectuado sobre músculos de forma individualizada.

As características da trajectória do PT em movimentos voluntários, evidencia padrões de actividade neuronal na área motora suplementar, no córtex motor, no putamen e nos núcleos rubros que são compatíveis com a ideia geral de controlo da trajectória do PT durante os movimentos multiarticulares. Concretamente, foram identificados padrões de actividade de células corticais que podem corresponder à codificação da trajectória, independentemente das forças e dos padrões de activação musculares (Latash, 1998a).

Em Houk (1989) e Houk et al. (1981, 1987), sugere-se que a actividade dos neurónios no núcleo rubro pode participar no controlo motor, codificando propriedades dos sistemas de reflexo de *feedback* na medula espinal. Estes investigadores referem que a actividade de alguns neurónios dos núcleos rubros pode estar relacionada com a iniciação, velocidade e amplitude dos movimentos voluntários, sendo estas as variáveis básicas que são assumidas como sendo usadas no controlo do PT.

Os mesmos investigadores sugeriram a existência de interacção entre o núcleo rubro e o cerebelo na criação de programas motores, ao desligar conjuntos de células de Purkinje, indo dessa forma desinibir os circuitos de feedback positivos.

5.3. Hipótese *Leading Joint*.

Recentemente Dounskaia e os seus colegas (Dounskaia, 2005; Dounskaia et al., 2002 a, b; Dounskaia et al., 2000a; Dounskaia et al. 1998; Dounskaia et al, 2000b) propuseram uma interpretação da estratégia de controlo usada pelo sistema sensório-motor para regular a influência do momento de *torque* interactivo (*torque* inercial e *torque* contenção) com o momento *torque* muscular, designada por *Leading Joint Hypothesis*.

Nos seus trabalhos, Dounskaia e colegas estudaram a coordenação de movimentos multiarticulares cíclicos de puxar ao nível do cotovelo e punho (Dounskaia et al. 1998), e ao nível do ombro e cotovelo (Lee, G. et al., 2006), tendo manipulado a coordenação entre as articulações para determinar o papel do momento de *torque* passivo e activo no controlo e regulação do movimento no plano transversal.

Verificaram que o movimento de uma articulação gera um momento de *torque* interactivo nas restantes articulações segmentares, devendo este ser modulado pelo sistema sensório-motor.

A pesquisa demonstrou que num movimento o momento de *torque* interactivo é um factor mecânico que influencia os movimentos multiarticulares, em que este está dependente da velocidade e aceleração articular, devendo ser regulado com um controlo activo, por acção das massas musculares, para que o controlo final possa ser alcançado.

De acordo com a hipótese, o sistema estabelece papéis para as articulações com base no controlo da trajectória desejada para o movimento.

No caso do movimento cíclico de puxar, o momento de *torque* muscular do ombro é responsável pelas componentes globais do movimento e produz um grande momento de *torque* interactivo no cotovelo, considerando que uma actividade detalhada do momento de *torque* muscular é requerido para que o cotovelo possa modular o papel do momento de *torque* interactivo na produção da forma desejada.

Neste caso, a articulação do ombro é a articulação principal do movimento, designada como “*leading joint*” (articulação liderante), e a articulação modulada é a do cotovelo, designada por “*subordinate joint*” (articulações subordinadas).

Dounskaia et al. (1998, 2000a, 2005) e Ketcham et al. (2004a, b, 2006), demonstraram que quando os movimentos se realizam com grande velocidade e ou com ausência de visão, os executantes não compensam completamente o momento de *torque* interactivo ao nível das articulações subordinadas, o que resulta em distorções na trajectória do segmento distal, a mão.

Foi pelos autores verificado que o momento de *torque* interactivo ao nível das articulações subordinadas é substancialmente maior quando a articulação liderante tem que rodar com uma elevada frequência, comparativamente com a frequência de rotação em movimentos lentos. Nestas velocidades elevadas, o momento de *torque* muscular no cotovelo não consegue modular a influência do momento de *torque* interactivo criado pela rotação do ombro e, conseqüentemente a trajectória é distorcida e comprometida.

Para modular com precisão a influência do momento de *torque* interactivo, o momento de *torque* muscular tem que aumentar, e deve acontecer de uma maneira oportuna em relação ao momento de *torque* interactivo.

A capacidade de modular o momento de *torque* interactivo com o momento de *torque* muscular ao nível do cotovelo encontra-se também comprometida quando o movimento é realizado com velocidades reduzidas e a visão está tapada.

Este resultado sugere que o *feedback* é particularmente importante na criação do momento de *torque* muscular e na correcção do momento de *torque* interactivo,

particularmente ao nível da articulação do cotovelo (Dounskaia et al., 1998, 2005; Dounskaia et al., 2000b; Ketcham et al., 2006).

6. A Investigação em Acções Motoras do Karate

A realização de uma acção motora desportiva tem como finalidade a concretização de um objectivo do qual depende o êxito de um longo processo de treino. O conhecimento de todas as variáveis que possam influenciar positiva e negativamente a realização da acção motora é uma necessidade para o controlo do treino, permitindo assim ao treinador rentabilizar o tempo disponível no processo, e maximizar as possibilidades de êxito desportivo do atleta, quando em competição.

Muitos têm sido os trabalhos realizados em torno da problemática inerente ao controlo neuromuscular na realização dos gestos motores, quer em estudos clínicos, associados a patologias como a doença de Parkinson, ou em estudos que pretendem disponibilizar novas informações para o complexo processo de treino desportivo.

Neste último campo, diversas têm sido as abordagens e os problemas associados ao controlo neuromuscular que têm interessado o trabalho dos investigadores, desde os estudos centrados em aspectos histológicos dos tecidos muscular e nervoso (Watkins, 1999; Ivanova et al., 1997; Bernardi et al., 1999; Garland et al., 1996; Henneman, 1965), a trabalhos relacionados com aspectos de coordenação intermuscular e intramuscular já anteriormente referenciados (Correia et al., 2004), ou com a capacidade de desenvolver força e a relação existente entre a produção de força e a velocidade durante a acção motora (Fitts, 1954; Fitts & Peterson, 1964; Smits-Engelsman, 2002), e o controlo do SNC sobre a acção muscular (Milner-Brown et al., 1973, 1975; Kyrolainen, 1995, Santos, 1995; Toji et al., 1997; Latash, 1998; Pousson et al., 1999).

Outro campo que tem merecido o interesse dos investigadores nesta linha de pesquisa, tem sido a análise da velocidade de realização da acção motora e o controlo nervoso dessa acção, quer ao nível de gestos realizados em baixas velocidades, ou em velocidades extremas (Toji et al., 1997; Pousson et al., 1999; Jaric et al., 1998; Ives et al., 1999; Correia, 1994, b), em que é procurado conhecer o padrão de activação neuromuscular da acção motora ao nível do membro superior (Yamazaki et al., 1993; Correia, 1994, b; Kashima et al., 2000; Lee et al., 1999; Zehr et al., 1997; Zehr and Sale,

1997), ou ao nível do membro inferior (Santos, 1995; Kyrolainen, 1995, Santos-Rocha et al., 2001).

A realização e análise da acção motora desportiva é complexa, envolvendo uma necessidade de apetrechamento de equipamento técnico que dificulta ou impossibilita a pesquisa no terreno, isto é, no ambiente natural de realização dos eventos desportivos, o que conduz a investigação para o interior das salas de laboratório onde é procurado simular o espaço desportivo.

Por outro lado, os gestos técnicos desportivos levantam dificuldades de análise, sendo por vezes necessário uma investigação parcial do gesto e a partir dos dados recolhidos generalizar, por vezes com incorrecções para o gesto real.

Na pesquisa efectuada relativa ao âmbito do trabalho que se apresenta, nos múltiplos estudos encontrados sobre o controlo motor e neuromuscular de MB em acções motoras desportivas, o número de trabalhos de investigação dedicados aos desportos de combate, concretamente ao karate, é reduzido. O mesmo panorama se verifica quando procuramos trabalhos incidentes sobre as relações do karate com os componentes cinemáticos do movimento.

No âmbito acima referenciado foram identificados onze trabalhos realizados na modalidade desportiva karate, em que quatro estudos (Shaw and Bos, 1982; Sørensen et al., 1996; Sforza et al. 2002; Ravier et al., 2002) centraram a sua análise nas relações cinesiológicas de acções motoras do membro inferior realizadas por karatecas.

Relativamente ao membro superior verifica-se uma maior incidência de estudos efectuados, tendo sido identificados sete trabalhos (Cavanagh and Landa, 1976; Zehr et al., 1997; Zehr and Sale, 1997; Kim and Petrakis, 1998; Lee et al., 1999; Sforza et al., 2000; Girodet et al., 2005) no âmbito da modalidade karate.

Do conjunto dos sete estudos realizados sobre o membro superior, dois trabalhos estudaram a acção motora de socar em que o movimento foi realizado de forma ecológica, tendo sido utilizadas metodologias com recurso à filmagem e a sensores de força que permitiram a posterior análise do movimento em componentes como a velocidade, aceleração, duração do movimento (Sforza et al., 2000), e força desenvolvida no momento do impacto (Girodet et al., 2005).

Sforza et al. (2000), com o recurso à análise de marcas colocadas no corpo de atletas karatecas masculinos e femininos, em que estes realizaram dois socos com características diferentes (*choku-tsuki* e *oi-tsuki*), sendo a realização dos movimentos filmada por um

instrumento optoelectrónico computadorizado, o que permitia uma análise tridimensional do movimento, concluíram que a execução do soco *oi-tsuki* é mais demorada do que a do soco *choku-tsuki*, em ambos os grupos em estudo.

A análise das marcas corporais colocadas permitiu concluir, em ambos os movimentos de socar, a existência de uma grande consistência na reprodutibilidade dos socos por parte dos karatecas dos dois grupos, mas as mulheres eram mais consistentes neste enquadramento que os homens. Quanto a este estudo, deveremos ter em atenção a reduzida amostra que foi utilizada na sua realização, em que participaram três homens e quatro mulheres karatecas que apresentavam diferentes níveis de treino.

O trabalho de Girodet et al. (2005) centrou-se na medição da força no momento do impacto na *makiwara* quando da realização do soco de karate (*gyaku-tsuki*). Para este efeito utilizou uma análise bidimensional, com a recolha de dados efectuada através da filmagem do movimento e posterior digitalização das imagens, e pela utilização de um sensor de força colocado na zona alvo da *makiwara*. Em relação aos dados obtidos, o autor refere que os valores do pico de força encontrados foram duas a três vezes inferiores ao que vem descrito na bibliografia de estudos anteriores, sugerindo que esta diferença se deve ao instrumento por si utilizado, a *makiwara*, que apresenta grande flexibilidade e não foi calibrado dinamicamente. Nestas execuções, os karatecas atingiram o máximo momento de força linear horizontal ($26,11 \text{ kgms}^{-1}$) antes do impacto, e este momento decresce ($2,58 \text{ kgms}^{-1}$) durante o impacto, com o impacto a demorar 15 ms. O pico de força medido no alvo (1745 N) acontece 5 ms depois do contacto.

Um terceiro trabalho (Cavanagh & Landa, 1976) estudou de forma ecológica o movimento de soco de mão aberta, realizado em três variantes do movimento, utilizado na realização de quebra de objectos.

Neste trabalho, a metodologia implementada recorreu à utilização da filmagem do movimento, tendo também sido colocado um acelerómetro na extremidade distal do antebraço, e a recolha de EMG dos músculos grande dorsal, bicípite e tricípite braquiais, o que permitiu aos autores uma análise abrangente das componentes cinemáticas e cinéticas do movimento, assim como a identificação de um padrão sequencial da acção neuromuscular. Foi verificado que antes do início da extensão do antebraço, o ombro já apresenta uma extensão de 70% em relação à sua extensão final. Os picos de aceleração do movimento aconteciam imediatamente antes do momento de contacto. A análise dos EMG identificou um padrão sequencial de activação muscular, com o grande dorsal a ser

ativado em primeiro lugar, seguido do tricípite braquial e depois pelo bicípite braquial. Os autores concluíram pela existência de grande velocidade angular (24,5 a 29,5 rad/s⁻¹) desenvolvida ao nível da articulação do cotovelo, e que esta velocidade se relacionava com o movimento do ombro (velocidade angular do ombro). Por outro lado referem que o movimento coordenado das articulações, a relação velocidade-tempo e o padrão sequencial de activação muscular se reflectem no efeito de chicote no momento do contacto com o alvo.

Numa abordagem diferente, não ecológica, limitativa quanto à extrapolação dos resultados para a modalidade desportiva foram analisadas acções de extensão realizadas pelo antebraço (Zehr et al., 1997), Zehr and Sale, 1997) e pelo terceiro dedo da mão (Lee et al., 1999), num movimento balístico monoarticular condicionado por um instrumental laboratorial, do que se constata que os movimentos realizados nestes trabalhos não são reprodutores do léxico motor dos karatecas. Estes trabalhos tiveram como objectivo comparar populações de atletas treinados (karatecas) com populações de sujeitos não treinados na realização de acções motoras de características balísticas.

Os trabalhos de Zehr desenvolveram-se com a utilização de um equipamento de sustentação do antebraço sobre o qual era realizada a sua extensão, tendo este integrado transdutores e potenciómetros para recolha de dados cinemáticos e cinéticos. A actividade muscular de extensão do antebraço foi recolhida através do EMG. Lee estudou a aceleração da extensão do dedo e a actividade muscular do músculo extensor e do seu antagonista. Para a recolha dos dados utilizou um acelerómetro e EMG.

Zehr et al. (1997) refere a existência de influência do treino que se reflecte na existência de diferenças significativas entre karatecas e não karatecas quanto ao pico de *torque* isométrico, ao pico de *torque* na acção balística de extensão, no pico de aceleração, em que se revelaram ser superiores nos indivíduos treinados. No entanto o pico de aceleração superior não identifica uma velocidade diferente entre os sujeitos treinados e não treinados. Por outro lado, a análise dos EMG não revelou diferenças significativas entre a actividade muscular na realização dos movimentos. Apenas na acção isométrica o autor encontrou diferenças entre as populações quanto à coactivação antagonista, que era maior nos karatecas. Estes resultados levam o autor a concluir que os karatecas possuem uma performance balística superior, no entanto, esta poderá não estar relacionada com uma maior activação agonista ou alteração da coactivação antagonista.

Lee et al. (1999), tal com Zehr, refere a existência de influência do treino na existência de diferenças entre karatecas e não karatecas. Estas diferenças surgem no tempo de reacção, no padrão EMG e na aceleração da extensão do dedo. Os EMG revelaram a existência de um período de coactivação em ambos os grupos, mas com diferenças significativas quanto ao tempo de coactivação, que é menor relativamente aos músculos flexores em relação aos extensores nos karatecas.

Por outro lado, o autor refere a existência de diferenças significativas entre grupos quanto ao tempo de duração do movimento de extensão do dedo, em que os atletas são mais rápidos, e o intervalo de tempo entre o início da aceleração e o pico máximo de velocidade é significativamente menor nos atletas. Nas suas conclusões o autor refere a não existência do padrão trifásico, característico das acções balísticas monoarticulares, em nenhum dos grupos, salientando no entanto a existência de coactivação muscular e o papel de actividade sinergista dos músculos extensores e flexores no movimento balístico de extensão do dedo.

Kim e Petrakis (1998) numa abordagem diferente, associada com o desenvolvimento de capacidades através dos processos de treino, estudaram a velocidade visuo-perceptual de três grupos de karatecas, (cintos negros, cintos azuis e cintos brancos) de ambos os géneros. Os autores concluíram que os karatecas cinto negro apresentavam uma velocidade visuo-perceptual superior à dos restantes karatecas, e que as mulheres apresentam uma maior velocidade perceptual que os homens. Como referem os autores, a mudança constante do envolvimento onde acontece o combate, na competição em karate, obriga os intervenientes a uma constante tomada de decisão, em que esta tem que ser imediata, o que requer uma grande velocidade de visão perceptual para o sucesso da *performance*. As diferenças encontradas entre homens e mulheres são justificadas com a atenção das mulheres a ser focalizada em pormenores comportamentais do oponente, enquanto os homens centram a sua atenção em questões como a força ou velocidade, e na possibilidade de a informação ser processada de diferentes formas entre homens e mulheres.

Os três últimos estudos acima referidos foram desenvolvidos com constrangimentos laboratoriais e em acções motoras monoarticulares, o que os afasta da realidade dos movimentos realizados pelos karatecas no seu dia-a-dia, levando a equacionar da pertinência das conclusões destas abordagens e a sua directa aplicação ao gesto real. Assim, em nosso entender, a simulação da acção motora desportiva em estudos laboratoriais deverá procurar ser a mais ecológica possível para que esta possa

corresponder ao que acontece no ambiente desportivo, e com a preocupação subjacente do investigador em que os instrumentos de recolha e análise de dados sejam “discretos”, permitindo que os resultados da pesquisa transmitam uma informação pertinente para o trabalho de campo dos treinadores durante o processo de treino dos seus atletas.

7. Anatomia e funcionalidade do Membro Superior: Revisão osteoarticular e muscular

O membro superior humano é capaz de realizar um amplo leque de movimentos dos quais referimos o levantar/baixar, puxar/empurrar e circundar. As características estruturais que o membro superior apresenta são um reflexo das suas funções. Ele está ligado ao corpo através da cintura escapular com a qual articula e onde é sustentado por diversos músculos e ligamentos que, no entanto, lhe permitem grande liberdade de realização de movimentos. Esta grande mobilidade está intimamente associada com as funções inerentes à utilização da mão.

7.1. Cintura Escapular.

A cintura escapular é formada por dois ossos, a omoplata e a clavícula, que na realização de movimentos do membro superior actuam em conjunto. A sua ligação ao esqueleto axial é feita através da articulação entre a clavícula e o esterno. Esta articulação, esternoclavicular, permite a realização de movimentos em diversos eixos (multiaxial), sendo classificada como epifartrose, em que podemos encontrar movimentos de elevação ou depressão, de protração ou retracção, e rotação anterior ou posterior. A sua estabilidade é assegurada por quatro ligamentos, o esternoclavicular anterior e o esternoclavicular posterior, o ligamento interclavicular e por último o ligamento costo-clavicular.

Quanto à articulação que se realiza entre a clavícula e a omoplata, no processo acrómio (articulação acrómio-clavicular), ela é classificada como artrodia, onde se verificam movimentos de deslize e rotacionais de pequena amplitude, associados à movimentação das articulações esternoclavicular e gleno-umeral. A estabilidade articular é assegurada pelos ligamentos acrómio-claviculares superiores e inferiores e pelos ligamentos coráco-claviculares (trapezóide e cónoide).

A omoplata desenvolve com o tórax uma articulação com características especiais, isto é, não apresenta os componentes anatomofisiológicos das verdadeiras articulações sinoviais. A ligação entre a omoplata e o tórax realiza-se por músculos (subescapular e grande dentado) que formam a falsa articulação omo-costal, conferindo esta grande mobilidade à omoplata, o que lhe permite realizar movimentos de elevação/depressão, abdução/adução e rotação superior/inferior. Não devemos esquecer que a mobilidade da omoplata também está intimamente associada às articulações acrómio-clavicular e esternoclavicular, assim como ao envolvimento músculo-tendinoso que a suporta.

Na realização de qualquer dos movimentos da omoplata verifica-se uma mudança de posição da cavidade glenóide da omoplata o que modificará o posicionamento de todo o membro superior. Do que poderemos concluir que o complexo articular da cintura escapular e articulação gleno-umeral desenvolvem a sua mobilidade em conjunto.

A participação muscular nos movimentos que envolvem a cintura escapular, associam-se essencialmente à estabilização/imobilização da omoplata de forma a proporcionar uma base estável para a actuação da musculatura responsável pela mobilidade ao nível da articulação gleno-umeral, mas em movimentos extremos verifica-se uma cooperação entre os diversos grupos musculares na realização do movimento (Thompson & Floyd, 2001; Luttgens & Hamilton, 1997)

Descrevem-se seis músculos que actuam na realização de movimentos na cintura escapular e que são: anteriores, o *pectoralis minor* (pequeno peitoral), o *serratus anterior* (grande dentado) e o *subclavius* (subclávio); posteriores, o *trapezius* (trapézio), o *rhomboids* (rombóide) e o *levator scapulae* (angular da omoplata).

Todos estes músculos apresentam a sua origem no esqueleto axial, com a sua inserção na omoplata ou clavícula. Não se verifica qualquer ligação destes músculos com o úmero ou com a articulação gleno-umeral, desenvolvendo estes a sua acção essencialmente na omoplata, promovendo a sua estabilização para que esta sirva de suporte nas actividades da articulação gleno-umeral (Thompson & Floyd, 2001; Luttgens & Hamilton, 1997; Seeley & Sthepens & Tate, 2000; Kapandji, 1983).

7.2. Braço.

A articulação gleno-umeral é o local de união entre o membro superior e a cintura escapular, e conseqüentemente, ao esqueleto axial. Esta união verifica-se através da epífise

proximal do úmero (cabeça do úmero) com a cavidade articular da omoplata (cavidade glenóide).

A forma das duas superfícies articulares, a cabeça do úmero que se assemelha a uma semiesfera e a cavidade articular da omoplata, permite a esta articulação grande mobilidade. É uma articulação multiaxial classificada como enartrose, que permite ao úmero a realização de movimentos de flexão/extensão, abdução/adução, rotação externa/interna, abdução horizontal/adução horizontal ou diagonal e circundação.

A grande mobilidade desta articulação compromete a sua estabilidade, sendo esta auxiliada pela existência de um anel cartilágneo (debrum) que se localiza à periferia da cavidade glenóide da omoplata e que aumenta a dimensão desta superfície. Por outro lado, todo o revestimento capsular e ligamentar existente (lig. coraco-umeral, lig. gleno-umerais superior, médio e inferior e o lig. coraco-acromial), assim como as terminações tendinosas da musculatura que se localiza posteriormente à articulação, promovem a sua estabilidade.

No entanto, poderemos considerar que a estabilidade articular foi sacrificada para haver um ganho na mobilidade do membro superior, mas com os movimentos da articulação gleno-umeral a serem acompanhados pela movimentação da omoplata e da cintura escapular, o que nos impede de efectuar análises simplistas centradas só na articulação gleno-umeral.

Esta articulação e os seus componentes, como consequência da sua grande solitação e disponibilidade para o movimento, estão sujeitos a diversos tipos de lesões, sendo comum as luxações e/ou a laxidão ligamentar, ou mesmo o arrancamento ligamentar ou tendinoso nos seus pontos de inserção, devido a movimentos desportivos efectuados com extrema violência.

Também com alguma frequência se verificam lesões ao nível dos músculos rotadores do úmero (subescapular, supraespinhoso, infraespinhoso e pequeno redondo) cujos tendões cruzam a epífise proximal do úmero por cima, atrás e à frente, inserindo-se no troquino ou no troquiter umeral. Para além da sua função rotadora, estes músculos têm a responsabilidade de manter a cabeça do úmero numa posição correcta e adequada para o movimento, enquanto os poderosos músculos do braço potenciam o deslocamento do úmero na articulação gleno-umeral.

Para melhor compreendermos o envolvimento muscular da articulação gleno-umeral e o seu comportamento na mobilidade do membro superior, agrupamo-los por localização em relação à articulação, descrevendo-se assim: anteriormente, o *pectoralis major* (grande

peitoral), o *coracobrachialis* (coraco-braquial), o *subscapularis* (subescapular) e o *biceps brachii* (bicípite braquial); posteriormente encontramos o *infraspinatus* (infraespinhoso) e o *teres minor* (pequeno redondo); superiormente, o *deltoid* (deltóide) e o *supraspinatus* (supraespinhoso); inferiormente o *latissimus dorsi* (grande dorsal) o *teres major* (grande redondo) e o *triceps brachii* (tricípite braquial).

Todos os músculos referenciados apresentam como ponto de origem o tórax ou a omoplata dirigindo-se para o membro superior, desenvolvendo a sua acção ao nível da articulação gleno-umeral (Thompson & Floyd, 2001; Luttgens & Hamilton, 1997; Seeley & Sthepens & Tate, 2000; Kapandji, 1983; Correia et al., 1998).

7.3. Antebraço.

A maioria dos movimentos que são realizados pelo membro superior envolve as articulações do cotovelo e as articulações entre o rádio e o cúbito. A cumplicidade articular existente entre a epífise distal do úmero e as epífises proximais do rádio e do cúbito permite uma grande versatilidade e precisão dos movimentos que se realizam ao nível do antebraço e da mão.

A articulação do cotovelo apresenta grande complexidade, onde os dois ossos do antebraço (rádio e cúbito) se apresentam articulados com o úmero de formas distintas. A articulação úmero-cubital é uma articulação classificada como trocleartrose, realizando-se entre a tróclea umeral e a grande cavidade sigmóide do cúbito. Por outro lado, a articulação úmero-radial, classificada como condilartrose, que se realiza entre o côndilo umeral e a cavidade glenóide do rádio. Por último, o contorno da cabeça do rádio articula com a pequena cavidade sigmóide do cúbito, sendo esta articulação classificada como trocóide, onde se verifica a existência do ligamento anelar, que ao ligar-se à pequena cavidade sigmóide, forma um anel fibroso que permite a rotação do contorno da cabeça do rádio.

Ao analisarmos a mobilidade do cotovelo temos que considerar as suas articulações de forma independente e a sua capacidade de realizar movimento. Assim, a articulação úmero-cubital e úmero-radial permitem a realização de movimentos de flexão/extensão do antebraço, mas este realiza também movimentos de pronação/supinação que acontecem ao nível das articulações úmero-radial e rádio-cubital superior e inferior. Os movimentos de pronação/supinação estão intimamente relacionados com o posicionamento da mão para permitir a sua utilização em gestos complexos e precisos.

Todo o complexo articular do cotovelo, que se encontra envolvido pela cápsula articular, é reforçado por quatro ligamentos: lig. anterior, lig. posterior, lig. colateral radial e lig. colateral cubital. Todo este envolvimento ligamentar é responsável pela estabilidade articular durante a realização dos movimentos do antebraço, mas outros ligamentos que não se encontram directamente na região articular, contribuem para a sua estabilidade (lig. quadrado de Denucé, lig. interósseo e a corda de Weitbrecht).

A promover a mobilidade do complexo articular do cotovelo descrevem-se músculos que se posicionam anteriormente à articulação: *biceps brachii* (bicípite braquial), o *brachialis* (braquial anterior), *brachioradialis* (longo supinador) e o *pronator teres* (redondo pronador). Posteriormente descrevem-se o *triceps brachii* (tricípite braquial), o *anconeus* (ancóneo) e o *supinator* (curto supinador).

Os flexores do cotovelo localizados anteriormente em relação à articulação são o *biceps brachii*, *brachialis* e o *brachioradialis* com uma ligeira participação do *pronator teres*. O principal extensor do cotovelo é o *triceps brachii* com assistência do *anconeus*. Os movimentos de pronação/supinação são promovidos pelo grupo de músculos pronadores e supinadores (Thompson & Floyd, 2001; Luttgens & Hamilton, 1997; Kapandji, 1983).

Os traumatismos ao nível do cotovelo apresentam alguma incidência em atletas de diversas modalidades desportivas. São frequentes a lesão conhecida como “cotovelo do tenista” que está normalmente associada com problemas músculo-tendinosos, ou as luxações e fracturas no cúbito e rádio na sua extremidade proximal, devidas a quedas ou à execução de diversas técnicas de imobilização que frequentemente provocam lesões no referido segmento (Ex. chave de braço utilizada em desportos de combate). A gravidade deste tipo de lesões pode tornar impeditivo a continuidade de prática desportiva.

7.4. Mão.

Na extremidade distal do membro superior localizam-se as articulações do punho, que se continuam com a mão, responsável pela realização de uma grande diversidade de movimentos de precisão.

Para alguns desportos (tiro com arco, ténis, dardos, etc.) a precisão da mobilidade verificada ao nível das articulações do punho e da mão é fundamental na obtenção do êxito do gesto técnico e consequentemente no resultado desportivo final.

Trata-se de uma região anatômica e estrutural de grande complexidade que desenvolveu mecanismos que a tornaram capaz de realizar uma variedade de movimentos que são o resultado da interação de todos os seus componentes estruturais.

Ao analisarmos o punho e a mão encontramos 29 peças ósseas, incluindo as extremidades distais do rádio e do cúbito. Oito ossos formam o carpo, agrupados em duas filas de quatro, e cinco ossos formam o metacarpo, que se encontram identificados de um a cinco. Em articulação com cada metacarpo descrevem-se três falanges, à exceção do primeiro metacarpo que apenas possui duas falanges, perfazendo um total de catorze falanges.

O número de articulações desta região perfaz 25, em que a articulação do punho, que se realiza entre a extremidade distal do rádio e a fila proximal dos ossos do carpo, é classificada como condilartrose composta, onde são permitidos movimentos de flexão/extensão, abdução/adução.

Entre os ossos do carpo desenvolvem-se múltiplas articulações do tipo artrodia, à semelhança do que se verifica nas articulações carpo-metacárpicas e inter-metacárpicas, também classificadas como artrodias, e que permitem pequenos movimentos de deslize entre as suas superfícies articulares (excepção à articulação primo-carpo-metacárpica que se classifica como uma epifiartrose). As características articulares da primeira articulação carpo-metacárpica permitem-lhe uma maior mobilidade, podendo realizar movimentos de flexão/extensão, abdução/adução e oponência.

As cinco falanges proximais articulam com os cinco metacárpicos (articulação metacarpo-falângica) em articulações classificadas como condilartrose, permitindo estas movimentos de flexão/extensão e de lateralidade dos dedos.

Em cada dedo descrevem-se mais duas articulações, que são as articulações interfalângicas proximal e distal, classificadas como trocleartrose, permitindo a realização de movimentos de flexão/extensão dos dedos.

A consolidação de todo este conjunto articular e o seu reforço deve-se à existência de cápsula articular nas múltiplas articulações móveis, e numerosos ligamentos que a envolvem, dos quais referimos os ligamentos que reforçam o punho: os ligamentos laterais, o ligamento rádio-cárpico-palmar e o ligamento cúbito-cárpico-palmar, e um ligamento posterior (lig. rádio-cárpico-dorsal). Na mão descrevem-se pequenos ligamentos interósseos, ligamentos palmares e dorsais.

A mobilidade do punho e mão acontece devido à acção dos músculos que cruzam esta região do membro superior, estes são classificados de acordo com a sua localização e função no punho e mão, de onde se considera como músculos intrínsecos aqueles que se localizam e actuam especificamente só na mão (Thompson & Floyd, 2001; Luttgens & Hamilton, 1997).

São seis os músculos que actuam no punho e que não se relacionam com a mobilidade dos dedos. Os que são músculos flexores da mão o *flexor carpi radialis* (grande palmar), o *flexor carpi ulnaris* (cubital anterior) e o *palmaris longus* (pequeno palmar), e todos apresentam origem na epitróclea umeral e inserção ao nível do carpo ou metacarpo. Os que são extensores do punho apresentam a sua origem no epicôndilo umeral e inserção nos metacarpícos da face dorsal da mão e são o *extensor carpi radialis brevis* (segundo radial externo), o *extensor carpi radialis longus* (primeiro radial externo) e o *extensor carpi ulnaris* (cubital posterior).

Nos movimentos de abdução do punho actuam o *flexor carpi radialis*, o *extensor carpi radialis brevis*, o *extensor carpi radialis longus*, o *abductor pollicis longus* (longo abductor do polegar), o *extensor pollicis longus* e o *extensor pollicis brevis* (longo e curto extensores do polegar). Por outro lado os músculos *flexor carpi ulnaris* e *extensor carpi ulnaris* promovem a adução do punho.

A mobilidade dos dedos é assegurada por outros nove músculos que também actuam ao nível do punho, já que apresentam a sua origem no antebraço e cruzam o punho. Estes músculos apresentam uma acção fraca no punho, sendo o seu papel principal a mobilidade dos dedos. Estamos-nos a referir ao grupo de músculos flexores e extensores dos dedos que são: o *flexor digitorum superficialis* (flexor comum superficial dos dedos), o *flexor digitorum profundus* (flexor comum profundo dos dedos) e o *flexor pollicis longus* (flexor próprio do polegar), o *extensor digitorum* (extensor comum dos dedos), o *extensor indicis* (extensor próprio do indicador) e *extensor digiti minimi* (extensor próprio do quinto dedo), o *extensor pollicis longus* (Longo extensor do polegar) e o *extensor pollicis brevis* (Curto extensor do polegar). Não esquecendo o músculo *abductor pollicis longus* (Longo abductor do polegar) responsável pela abdução do polegar.

Quanto aos músculos intrínsecos da mão, apresentam a sua origem e inserção nos ossos que a formam, e para maior simplicidade de apresentação, apresentamo-los divididos em três grupos. Do lado radial descrevem-se os músculos que desenvolvem a sua acção no polegar, que são o *opponens pollicis* (oponente do polegar), o *abductor pollicis brevis*

(curto abdutor do polegar), o *flexor pollicis brevis* (curto flexor do polegar) e o *adductor pollicis* (adutor do polegar). Do lado cubital descrevem-se o *opponens digiti minimi* (oponente do quinto dedo), o *abductor digiti minimi* (abdutor do quinto dedo) e o *flexor digiti minimi brevis* (flexor do quinto dedo).

Para além destes, descrevem-se na mão onze músculos que se podem agrupar em três grupos: quatro músculos *lumbricales* (lombricoides), três *interossei palmar* e quatro *interossei dorsal* (interósseos palmares e dorsais) (Thompson & Floyd, 2001; Luttgens & Hamilton, 1997; Seeley & Sthepens & Tate, 2000; Kapandji, 1983; Correia et al., 1998).

A grande complexidade estrutural envolvendo a constituição óssea, ligamentar e muscular da mão, associada à pequena dimensão de todos os seus componentes está intimamente relacionado com a funcionalidade específica que lhe é inerente. A sua capacidade de produzir movimentos minuciosos e de grande precisão (tocar piano, escrever, etc.), exigentes de grande disponibilidade articular e de um controlo motor preciso, permitem a nossa compreensão sobre sua organização. Mas as práticas desportivas utilizam esta extremidade tanto em gestos de grande precisão (lançar dardos, jogos de bola com as mãos, etc.) como em movimentos grosseiros e de grande agressividade para a sua integridade (boxe, desportos de combate, etc.).

O crescente desenvolvimento da actividade desportiva leva-nos a aumentar as nossas preocupações sobre os benefícios e malefícios da prática não moderada (alta competição), tornando-se importante que toda a análise efectuada considere as consequências menos boas da prática desportiva.

8. Participação Muscular no *Choku-zuki*

8.1. Análise da participação muscular no *choku-zuki*

Conforme ficou perceptível no ponto 6. da nossa revisão bibliográfica a pesquisa no campo dos desportos de combate, especificamente no karate não tem sido muito produtiva, no entanto parece-nos fundamental perceber qual o caminho já percorrido até ao momento, de forma empírica e experimental, quanto à caracterização da participação muscular na realização do *choku-zuki*.

Nakayma (1983) refere que a potência das técnicas do karate resulta do *momentum* gerado pelo movimento das várias partes do corpo, em que o clímax dessas componentes é

alcançado no instante de contacto com o alvo, sendo a velocidade o componente mais importante nesta equação. Na realização do soco, quanto mais rápida for a contracção do músculo maior será a velocidade e consequentemente mais poderoso será o soco. Refere ainda o autor que os praticantes iniciados usam músculos desnecessários em conjunto com aqueles que são fundamentais para a realização do *choku-zuki*, e é da selecção apropriada dos músculos a utilizar que depende o êxito da realização do gesto técnico.

Na realização do *choku-zuki* acontece uma acção conjugada e sequencial de participação da cintura pélvica, tronco e membro superior o que permite uma utilização de energia que flui desde a cintura pélvica até ao punho, iniciando-se o movimento através da rotação da cintura pélvica tendo esta continuidade na flexão do braço, ao que se segue a extensão do antebraço com a sua pronação a finalizar toda a acção motora (Nakayama, 1983).

De acordo com a descrição e referência do autor os músculos relevantes na realização do soco são: o bicípite braquial, o tricípite braquial, o deltóide, o grande redondo, o grande dentado, o grande dorsal, o grande peitoral, o grande oblíquo do abdómen e o recto abdominal. O autor não apresenta qualquer critério ou justificação para a escolha apresentada.

Courtonne (1996) na sua descrição do soco vai um pouco mais longe. A sua análise é feita isolando a acção do membro superior em relação ao tronco e, relativamente ao membro superior introduz a rotação do antebraço (pronação/supinação) ao que refere os músculos pronadores e supinadores do antebraço como intervenientes nos respectivos movimentos.

Relativamente à realização do *choku-zuki*, este é apresentado num percurso de cinco fases que se iniciam a partir de um posicionamento da omoplata em adução, com o braço em extensão, o antebraço flectido e a mão em supinação, fechada e colocada sobre a crista ilíaca. A fase 2 caracteriza-se pelo início do movimento por acção do ombro, com a contracção dos músculos deltóide (porção anterior) e coracobraquial que promovem a flexão do braço, em que esta flexão terá continuidade até à fase 4.

Na fase 3 Courtonne refere que é natural aparecer movimentos parasitas que conduzem à abdução do braço e a que este enrole sobre si mesmo o que leva à participação do músculo grande peitoral para estabilizar o braço. Na fase 4 tem início a extensão do antebraço, em que o autor refere que neste movimento a acção contráctil do tricípite braquial é pouco interventiva, devendo-se esta acção em grande parte à transmissão de

energia do movimento de flexão do braço por acção gravítica. Por outro lado, refere que o antebraço se mantém em supinação durante esta fase, por acção dos músculos supinadores.

No braço tem início um movimento de rotação interna, realizado por acção dos músculos subescapular, grande dorsal, grande redondo e grande peitoral, tendo este movimento continuidade na fase 5.

A fase 5 é referida como sendo o momento de explosão do movimento, acontecendo o movimento de pronação que vai colocar o punho em posição de contacto com o alvo, por acção dos músculos pronadores. O antebraço completa o seu movimento de extensão verificando-se uma contracção de toda a musculatura do antebraço de forma a fixar o punho e a evitar uma extensão excessiva do segmento, o mesmo acontece com a musculatura do braço. Na omoplata, o autor refere a existência de um trabalho contráctil particular do músculo grande dentado para promover a sua fixação.

Segundo Courtonne (1996) há três ideias a reter, a primeira é que o movimento tem início no ombro, a segunda é que os músculos pronadores devem estar sobre tensão até ao fim do movimento e a terceira é que todo o membro superior deverá estar contraído no fim do movimento.

Nestas duas abordagens de carácter empírico torna-se perceptível a existência de um padrão motor pré-definido com uma sequência temporal de desenvolvimento dos movimentos em cada um dos componentes segmentares, com a associação de músculos que vão desenvolver papéis de agonismo e antagonismo, e por vezes havendo referência à fixação dos segmentos articulados.

Relativamente aos estudos efectuados no âmbito do karate e que se centrassem na análise cinesiológica dos gestos motores da modalidade não foi encontrado nenhum trabalho que fizesse qualquer referência aos padrões motores, quer a nível cinemático ou muscular. Assim, a análise empírica da realização do soco *choku-zuki*, seguindo a sequência do membro superior apresentada pelos dois autores acima referidos, é o ponto de partida, e nesta o movimento tem início num posicionamento estático do membro superior. São referenciados três movimentos básicos a acontecer no segmento braço e antebraço e, a possível existência de movimentos ditos parasitas que se surgem ao longo da realização do soco.

Relativamente ao início do movimento é referido que este se realiza no conjunto articular do ombro, com flexão do braço a ser realizada por acção agonista dos músculos deltóide (porção anterior), grande peitoral (porção clavicular) e coraco-braquial, tendo

como antagonistas a porção posterior do músculo deltóide, o grande dorsal e o grande redondo. Este movimento será acompanhado pela omoplata que realiza um movimento de abdução por acção agonista dos músculos grande dentado e pequeno peitoral, sendo antagonista os músculos trapézio, rombóides e angular da omoplata.

Durante o movimento de flexão do braço terá início a extensão do antebraço e esta deve-se à acção motora dos músculos agonistas tricípite braquial e ancóneo, tendo como antagonistas o bicípite braquial, o braquial anterior e o longo supinador. Durante o início da extensão do antebraço, este é mantido em supinação por acção dos músculos longo supinador, bicípite braquial e curto supinador, sendo antagonistas a esta acção o redondo pronador e o quadrado pronador.

O movimento de extensão do antebraço, segundo Courtonne (1996) é acompanhado pela rotação interna do braço por acção agonista dos músculos subescapular, grande dorsal, grande redondo, grande peitoral (porção esternal) e deltóide na sua porção anterior, tendo como antagonistas os músculos infraespinhoso, pequeno redondo e deltóide na sua porção posterior.

Próximo da extensão completa do antebraço tem início o movimento de pronação do antebraço que acontece por acção agonista dos músculos redondo pronador e o quadrado pronador, tendo como antagonistas o longo supinador, o bicípite braquial e o curto supinador.

Durante todo o movimento o punho encontra-se fixo e a mão fechada por acção conjunta dos músculos da região antero-interna e póstero-externa do antebraço e músculos da mão.

Esta descrição sequencial da estrutura do movimento apresenta o conjunto articular do ombro com um papel de *leading joint*, no entanto deveremos ter em consideração a existência de um objectivo final que é o contacto no alvo, com os segmentos a percorrerem uma trajectória que conduz o punho (*working point*) em sua direcção, com o padrão sequencial cinemático descrito a apresentar uma organização próximo-distal.

A existência de um padrão sequencial próximo-distal nas componentes cinemáticas do movimento tem sido abordada por diversos autores em diferentes modalidades (Bartlett et al., 1996; Kibler, 1995; Elliot et al., 1996) em que estes consideram a organização da sequência dos segmentos como fundamental para gerar o máximo de velocidade no segmento mais distal. Relativamente à sequência temporal de activação muscular, a exposição de Courtonne sobre o *choku-zuki* não a identifica e, segundo Hirashima et al.

(2002) os trabalhos realizados em outras modalidades não são claros na identificação da existência de uma sequência de activação muscular próximo-distal. No seu estudo com o lançamento de bola no baseball, Hirashima et al. (2002) refere que nem todos os músculos observados se enquadram numa sequência de activação próximo-distal, no entanto considera a importância de uma activação sequencial muscular próximo-distal para a transmissão de velocidade à bola durante o seu lançamento.

Na realização do *choku-zuki* é pretendido transmitir o máximo de velocidade possível ao punho, o que nos aproxima da possibilidade de existência de um padrão sequencial próximo-distal na excussão desta acção motora. Por outro lado, o padrão de activação da musculatura agonista e antagonista deverá reflectir as necessidades de grande velocidade do gesto motor, considerando que este é realizado sem resistência e a uma distância constante, equivalente ao comprimento do membro superior. Para além destes factores será importante uma produção de força contráctil inicial que permita vencer a inércia e promover uma aceleração intensa e vigorosa no membro para que seja produzido o máximo de velocidade.

Segundo este conjunto de pressupostos esta acção motora deverá centrar o seu controlo na intensidade do impulso dos MN, na frequência de activação das UM e no seu recrutamento relativamente à musculatura Ag que será activada cedo e de forma intensa, do que poderá resultar um sinal EMG inicial a apresentar uma grande inclinação e com um aumento da intensidade de toda a activação, tendo como reflexo uma intensa aceleração inicial, comparativamente com a execução da mesma acção motora feita de forma mais lenta.

Por outro lado, teoricamente a activação Antg poderá acontecer mais cedo, com um menor período de latência, o que levará a que o período de cocontractão Ag-Antg aconteça mais cedo, podendo este período ser maior. Este período aumentado de cocontractão permitirá a realização do gesto motor com maior eficácia devido a um melhor controlo da trajectória do movimento em direcção ao alvo (Meulenbroek et al., 2005) e por protecção das estruturas articuladas, no entanto identifica a possibilidade de ocorrer uma travagem do movimento também a acontecer mais cedo. Este mecanismo estará em oposição com outra possibilidade teórica de controlo da activação Ag e Antg, podendo este efectuar-se através de um processo de inervação recíproca, em que a activação antagonista aconteceria muito próximo do fim da activação agonista, diminuindo-se assim o período de cocontractão muscular, com a intervenção Antg a desacelerar o movimento nos seus momentos finais,

permitindo que os segmentos estejam mais tempo em aceleração e em crescendo de velocidade. Este é o padrão que está normalmente associado às tarefas de características balísticas e gera um padrão EMG característico (padrão trifásico), como foi anteriormente referenciado.

Neste conjunto de acções segmentares que compõem o *choku-zuki* será relevante entender o papel dos músculos tricípite braquial e bicípite braquial relativamente ao seu comportamento como músculos biarticulares, sendo um Ag e o outro Antg da extensão do antebraço, mas podendo também ser intervenientes em outras acções que acontecem durante a realização do soco nomeadamente a possível intervenção da longa porção do bicípite braquial no movimento de abdução do membro superior ou de todo o músculo na acção de supinação do antebraço. Relativamente ao tricípite braquial, relembrando a análise de Courtonne anteriormente referida em relação à pouca participação deste músculo na extensão do antebraço, apontando para que esta extensão se deva fundamentalmente ao movimento de flexão do braço, torna-se possível que esta interpretação surja devido a uma possível participação em acção tendinosa (Enoka, 2001) da longa porção do tricípite braquial, transferindo energia mecânica que será utilizada na extensão do antebraço. Nesta transferência energética poderemos também encontrar a utilização de energia elástica acumulada pelo prévio alongamento do músculo devido ao posicionamento inicial do segmento braço e do segmento antebraço.

Assim, procurando um enquadramento teórico segundo os modelos e hipóteses de controlo motor para a acção motora *choku-zuki*, com o que foi apresentado anteriormente poderemos considerar que o controlo efectuado no *choku-zuki* se poderá enquadrar na hipótese *Dual-Strategy* de acordo com a *speed-insensitive strategy* (referenciada no ponto 4.6. desta revisão), não esquecendo que estas hipóteses têm como base a análise de movimentos monoarticulares, por outro lado é referida também a existência de uma *leading joint* (articulação/segmento liderante) que neste caso será o ombro, procurando conduzir o punho (*working point*) em direcção ao alvo.

8.2. Caracterização anatomofuncional dos músculos estudados

8.2.1. Grande Peitoral.

É um músculo que faz parte de um grupo de massas musculares que se localizam mais superficialmente na região ântero-lateral do tórax e que se dirigem para o membro superior onde desenvolvem a sua acção.

O músculo grande peitoral encontra-se localizado superficialmente, com um posicionamento anterior e lateral ao esterno, no terço superior do tórax, tendo como pontos de origem a face anterior das seis primeiras cartilagens costais, a face anterior do corpo do esterno e o bordo anterior da clavícula, nos seus 2/3 internos. Tem como ponto de inserção a goteira bicipital do úmero.

A localização dos pontos de origem ao nível do esterno e da clavícula leva a ser considerada uma divisão funcional em duas porções (porção esternal e porção clavicular) quanto a esta massa muscular.

É um músculo em que a sua porção clavicular está activa na realização do movimento de flexão do braço, atingindo a sua participação máxima aos 115° do movimento, por outro lado, a sua porção esternal mantém-se inactiva (Basmajian & De Luca, 1985; Luttgens & Hamilton, 1997), participando no entanto na rotação interna do braço (Elliot et al., 1999) e na sua adução (Greene & Roberts, 2005).

Segundo Pascoal (1995), este músculo apresenta picos de actividade, na sua porção clavicular, aos 75° e 120° na flexão do braço.

8.2.2. Grande Dorsal.

É um músculo que faz parte da camada superficial dos músculos posteriores do tronco em que este será o local de origem mas tendo como ponto de acção, no caso do grande dorsal, o braço. O músculo cobre a porção inferior e média das costas com origem na crista ilíaca, crista sagrada e apófise espinhosa das vértebras lombares até D6.

As fibras do músculo convergem e torcem sobre si, inserindo-se através de um tendão na goteira bicipital do úmero.

Desenvolve a sua acção na realização de movimentos de extensão e adução do braço (Greene & Roberts, 2005), sendo a sua acção potenciada quando a extensão se verifica com uma abdução de 30° e 90° (Basmajian & De Luca, 1985; Luttgens & Hamilton, 1997).

Greene e Roberts (2005) referem a intervenção do músculo como rotador interno do braço tendo esta participação sido também observada por Elliot et al. (1999) em jogadores de basebol no gesto de lançar.

8.2.3. *Infraespinhoso.*

É um músculo que pertence a um grupo de sete músculos da cintura escapular e que promove a ligação entre esta e o úmero e que em conjunto com o grande dorsal e o grande peitoral são fundamentais na mobilidade do braço. O músculo infraespinhoso situa-se por baixo da espinha da omoplata tendo como local de origem a fossa infraespinhosa nos seus 2/3 internos, inserindo-se na faceta média do troquiter umeral.

Desenvolve a sua acção em colaboração com o pequeno redondo, participando na realização da depressão da cabeça do úmero quando da realização da flexão e abdução do braço, evitando assim a colisão com o processo acromial.

Faz parte do conjunto de rotadores do úmero (infraespinhoso, pequeno redondo, subescapular e supraespinhoso), participando na rotação externa do braço mas desenvolvendo um papel importante na manutenção da cabeça do úmero na cavidade glenóide da omoplata (Greene & Roberts, 2005; Basmajian & De Luca, 1985; Luttgens & Hamilton, 1997) ajudando a estabilizar a articulação.

8.2.4. *Deltóide.*

Tal como o infraespinhoso, o deltóide é um dos músculos do grupo de sete músculos da cintura escapular que promovem a ligação entre esta e o úmero. Tem uma localização superficial, entre o terço externo da clavícula, correndo para o lado e para trás em direcção à espinha da omoplata ocupando uma posição envolvente do terço superior do úmero.

É um músculo multipenado em que se distinguem três porções onde a porção anterior apresenta origem no 1/3 externo do bordo anterior da clavícula, a porção posterior tem origem no lábio inferior da espinha da omoplata e a porção média tem origem no bordo externo do acrómio. A inserção deste músculo acontece no V deltóideo que se situa na face externa da diáfise do úmero.

É um músculo em que as suas partes se encontram activas em qualquer movimento do membro superior (Basmajian & De Luca, 1985) mas em que a sua porção anterior se encontra mais activa nos movimentos de flexão do braço, especialmente quando este está em rotação interna, mas não participa na adução horizontal ou na sua rotação interna (Townsend et al., 1991). Por outro lado Elliot et al. (1999) num estudo efectuado com atletas de basebol refere que a porção anterior do deltóide se encontra activa (perto dos 100% da CVM) na rotação interna durante o gesto de lançar.

Segundo Pascoal (1995), a porção anterior do deltóide apresenta um pico de actividade aos 150° – 160° na flexão do braço.

Relativamente à porção posterior do deltóide, esta tem a sua acção principal nos movimentos de extensão e rotação externa, enquanto a porção média intervém no movimento de abdução do braço (Greene & Roberts, 2005).

8.2.5. *Tricípite Braquial.*

É um músculo biarticular, superficial, que se localiza na região posterior do braço e que corre na articulação gleno-umeral (só a longa porção) e no cotovelo. É constituído por três porções com origens distintas mas com inserção comum. É formado pela longa porção que tem origem no tubérculo infraglenoideo, o vasto interno que tem origem na metade inferior da face posterior da diáfise do úmero e o vasto externo que tem origem na metade superior da face posterior da diáfise do úmero. A inserção deste músculo acontece no olecrânio.

Na realização de movimentos de extensão do antebraço foi verificado que a longa porção do tricípite braquial encontra-se em “repouso/silêncio” (Basmajian & De Luca, 1985) durante a extensão activa do cotovelo, independentemente da posição do membro ou do sujeito, por outro lado, o vasto interno está sempre activo e surge aparentemente como o responsável pela extensão do cotovelo. O vasto externo apresenta também actividade durante a extensão do antebraço (Basmajian & De Luca, 1985). Lutgens e Hamilton (1997) referem a participação do vasto externo em conjunto com a longa porção do tricípite como auxiliares da extensão do antebraço. Em acções de extensão contra resistência a longa porção do tricípite braquial e o vasto externo são recrutados para o movimento (Basmajian & De Luca, 1985). Greene e Roberts (2005) referenciam o tricípite braquial como sendo o principal responsável pela extensão do antebraço.

8.2.6. *Bicípite Braquial.*

É um músculo biarticular, que se situa superficialmente na região anterior do braço e que corre sobre as articulações gleno-umeral e do cotovelo. É formado por duas porções, a longa e a curta, que apresentam como pontos de origem, respectivamente, o tubérculo supraglenoide, junto ao lábio superior da fossa glenóide, e o processo coracóide da omoplata. Tem como ponto de inserção a tuberosidade bicipital do rádio.

É um músculo que desenvolve a sua acção no cotovelo, mas que também participa na mobilidade do ombro. No cotovelo ele intervém como flexor e supinador, mas quando se verifica a pronação do antebraço este músculo reduz a sua acção na flexão e torna-se num potente supinador (Greene & Roberts, 2005; Basmajian & De Luca, 1985; Luttgens & Hamilton, 1997). Relativamente à articulação gleno-umeral, a longa porção do bicípite participa nos movimentos de flexão do braço. Participa também nos movimentos de abdução do braço quando este se encontra em rotação externa (Greene & Roberts, 2005). Por outro lado Coury e colegas (1998) referem que o bicípite braquial se encontra bastante activo na realização de movimentos de adução isométrica tendo verificado esta participação em sujeitos que realizavam uma tarefa de compressão sobre um dispositivo de medição colocado entre as palmas das mãos. Os autores atribuem a sua actividade neste movimento ao facto de este músculo ser biarticular o que leva a que a sua acção não se limite a uma só articulação.

8.2.7. Redondo Pronador.

É um músculo que se situa na região anterior e interna do antebraço, fazendo parte da camada de músculos desta região que se localizam de forma mais superficial. Apresenta na sua constituição dois feixes que têm como locais de origem a face anterior da epitroclea umeral e a apófise coronoideia do cúbito. O músculo tem como local de inserção a porção média da diáfise do rádio, na sua face externa.

Colaborando com o músculo quadrado pronador, o redondo pronador desenvolve a sua acção nos movimentos de pronação do antebraço, sem que a sua acção sofra qualquer influência por alterações no ângulo atribuído ao antebraço (Basmajian & De Luca, 1985; Greene & Roberts, 2005). Funciona fundamentalmente como assistente do músculo quadrado pronador, sendo este o principal agonista no movimento de pronação quando este acontece de forma rápida ou contra resistência.

Por outro lado, este músculo também participa na acção de flexão do antebraço. Nos movimentos de supinação lenta não é encontrada actividade no músculo (Basmajian & De Luca, 1985).

8.2.8. Longo Supinador.

É um músculo que faz parte da região anterior do braço tendo o seu ventre muscular continuidade para o antebraço. Apresenta como origem o bordo externo da epífise distal do

úmero, acima do epicôndilo, cruzando a articulação do cotovelo e inserindo-se na apófise estilóide do rádio.

O músculo encontra-se envolvido em diversas acções, colabora com o bicípite braquial na flexão do cotovelo e funciona tanto como supinador como pronador. Esta variabilidade na acção acontece de acordo com a linha de tracção do músculo em relação ao eixo de rotação articular, relativamente ao posicionamento do antebraço. Se o segmento se encontra em supinação a acção do músculo será de promover a pronação, se o segmento se encontrar num posicionamento intermédio entre a pronação e a supinação a acção será fundamentalmente de promover a flexão do segmento, quando este se encontra em pronação então a acção será de promover a supinação do segmento (Greene & Roberts, 2005).

Por outro lado, em movimentos rápidos contra resistência, fundamentalmente naqueles em que o antebraço se encontra em flexão, o músculo promove a supinação do antebraço tendo nesta acção a colaboração do bicípite braquial, (Basmajian & De Luca, 1985; Lutgens & Hamilton, 1997). Em movimentos rápidos de supinação, com o antebraço em extensão, apenas o longo supinador é o responsável pela acção (Basmajian & De Luca, 1985).