

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA

**O PAPEL DA PROPRIOCEPÇÃO NO
DESENVOLVIMENTO DA FORÇA MUSCULAR
E DA FLEXIBILIDADE**

MARCOS BAGRICHEVSKY DE SOUZA

TEXTO APRESENTADO À COORDENAÇÃO
DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE
EDUCAÇÃO FÍSICA DA UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE CAMPINAS COMO
REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE MESTRE, NA ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO "ATIVIDADE FÍSICA E
ADAPTAÇÃO, SOB A ORIENTAÇÃO DO
PROF. DR. ROBERTO VILARTA.

CAMPINAS – 1998

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

99 13789

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
V.	Es.
TOMBO BC/	38078
PROC.	229/99
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	11,00
DATA	17-07-99

CM-00125860-3

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA - FEF UNICAMP

Souza, Marcos Bagrichevsky de Souza

So89p

O papel da propriocepção no desenvolvimento da força muscular e da flexibilidade / Marcos Bagrichevsky de Souza. Campinas, SP : [s.n.], 1998.

Orientador : Roberto Vilarta.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação Física.

1. Propriocepção. 2. *Treinamento. 3. *Flexibilidade.
4. *Força. I. Vilarta, Roberto. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação defendida por Marcos Bagrichevsky de Souza e aprovada pela comissão julgadora em 06 de maio de 1998

Data: 16. 6. 99

Assinatura: 

Dedico a realização deste trabalho à minha Mãe,

Cujo amor, preocupação e auxílio, sempre constantes durante a concretização de mais este objetivo profissional, foram tão intensos e sem medida de limites, que eu não conseguiria me imaginar chegando nesse momento, sem dividir com esta mulher maravilhosa, os momentos de felicidade. Te amo D^a Sonia !!!

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai

Você sempre foi para mim, um exemplo de dedicação, fé e perseverança no trabalho e na vida. Agradeço do fundo do meu coração, todo o benefício do seu amor e da nossa convivência .

À toda minha família

Obrigado Paulinha, Vó Elza, Tê, Tati e Célia, pelo incentivo e preocupação durante toda essa nova etapa de minha vida. O amor de vocês foi fundamental para eu chegar até aqui !

À minha esposa Luísa

Minha gratidão por acompanhar, participar e ajudar em todas as etapas deste trabalho, com interesse e carinho. Meu amor à você.

Ao professor Dr. Roberto Vilarta

Agradeço de coração pela oportunidade de ingressar na vida acadêmica e pelos ensinamentos didáticos. Sua experiência e conhecimento foram muito importantes na construção e cientificidade do trabalho.

Aos membros da banca examinadora

Meu sincero reconhecimento, pelo cuidado com que foram feitas todas as correções pertinentes à dissertação e também pela disponibilidade de tempo e recursos oferecidos a mim, no intuito de engrandecer o trabalho.

Ao amigo Marco Antonio Alves de Moraes

Que compartilhou em todos os momentos deste trabalho, as dificuldades e também os avanços, pessoais e acadêmicos, sempre com uma receptividade acolhedora e amistosa. Obrigado por suas indicações e sugestões e pela ajuda dispensada !

Ao amigo Álvaro D'antona

Pela inestimável colaboração na editoração das imagens gráficas da dissertação, pela amizade e por sua paciência. Fico muito grato.

À Tiane, Márcia, Rodrigo e toda família Camargo

O apoio de vocês quando cheguei à Campinas foi um alento e permitiu que eu, mesmo em "terras desconhecidas", me sentisse em casa. Sou imensamente grato.

À querida colega Jacque

Você colaborou gentilmente, nas etapas iniciais do mestrado, com artigos, indicações, mas sobretudo, com amistosidade e docilidade, que lhe são peculiares.

Ao professor Dr. Jorge Perez Gallardo

Obrigado pelo ombro amigo nos momentos difíceis. Além de já respeitá-lo pela competência profissional, passei a sentir uma grande admiração por seu humanidade, sobretudo, pelo gesto solidário demonstrado.

Ao meu sogro Luiz dos Santos Alves

Por todo apoio, auxílio e compreensão nestes anos de contato pessoal. Espero ter merecido toda sua confiança e consideração. Muito obrigado.

Ao William Alexandre

Por seus serviços profissionais competentes, tão necessários durante a qualificação e defesa e também por sua boa vontade em me atender a qualquer hora. Sou muito grato.

À Tânia da secretaria de Pós-Graduação da F.E.F.

Desde o meu ingresso na universidade, em 1994, pude contar sempre com sua inestimável competência e ajuda, em todos os momentos. Obrigado por tudo.

Aos funcionários da Biblioteca Central da Unicamp

Especialmente na pessoa da Sr^a. Albertina, o meu agradecimento pela atenção e presteza dispensada a mim, na pesquisa e fornecimento de valiosos artigos da comutação gráfica.

Aos funcionários das bibliotecas da F.E.F., I.B. e F.C.M.

Por ter sido sempre bem atendido durante as inúmeras consultas e pesquisas, necessessárias ao levantamento do material bibliográfico para a dissertação.

À Dulce e Edson

Vocês foram especialmente antenciosos e simpáticos, durante os momentos em que precisei de auxílio, na busca e empréstimo de material bibliogáfico, entre outras coisas. Valeu o carinho dispensado.

Aos funcionários e professores da Pós e Graduação da F.E.F.

Por tornarem o ambiente de convívio acadêmico e pessoal, agradável, estimulante e acolhedor.

Aos amigos de sempre

Carlos Augusto, César, João Carlos Rosa, Gilberto e João Cortez, agradeço por existirem em minha vida, ajudando a torná-la mais mais agradável a cada momento, com esse sentimento tão nobre que é a amizade.

Ao CNPq

Pelo financiamento do trabalho.

Ao Grande Pai todo poderoso

Obrigado por ter me agraciado com tanta saúde, com uma família maravilhosa e ótimos amigos e, por me ensinar a perseverar em meus objetivos. Esta é a verdadeira riqueza da vida !!!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	6
2.1 OBJETIVO GERAL	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. METODOLOGIA	7
4. TEORIA DA ADAPTAÇÃO	10
5. O SISTEMA PROPRIOCEPTIVO: POSSIBILIDADES E LIMITES	17
5.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÕES OPERACIONAIS	17
5.2 FUSOS MUSCULARES	18
5.2.1 Características Morfológicas	18
5.2.2 Características Fisiológicas	21
5.2.3 Registros experimentais da atividade dos fusos no movimento	23
5.2.4 Registros experimentais da atividade dos fusos no controle postural	34
5.2.5 Síntese das características gerais dos fusos	37
5.3 ORGÃOS TENDINOSOS DE GOLGI	38
5.3.1 Características Morfológicas	38
5.3.2 Características Fisiológicas	38
5.3.3 Registros experimentais da atividade dos O.T.G.	41
5.3.4 Síntese das características gerais dos O.T.G.	46
5.4 AFERÊNCIAS ARTICULARES	47
5.4.1 Características Morfológicas	47
5.4.2 Características Fisiológica	49
5.5 AFERÊNCIAS CUTÂNEAS	51
5.6 MECANISMOS REFLEXOS	52

SUMÁRIO

5.7 REFLEXOS PROPRIOCEPTIVOS E POSTURA	63
5.8 CINESTESIA	67
6. DISCUSSÃO	71
6.1 O TREINAMENTO DA FORÇA	74
6.1.1 Considerações gerais	74
6.1.2 Análise relacional entre as estratégias para o desenvolvimento da força e os circuitos neurais proprioceptivos	82
6.1.3 Comentários a respeito da contextualização metodológica da força em situações práticas	87
6.2 O TREINAMENTO DA FLEXIBILIDADE	91
6.2.1 Considerações gerais	91
6.2.2 Análise relacional entre as estratégias para o desenvolvimento da flexibilidade e os circuitos neurais proprioceptivos	96
6.2.3 Comentários a respeito da contextualização metodológica da flexibilidade em situações práticas	100
7. CONCLUSÃO	106
8. BIBLIOGRAFIA	112

LISTA DE FIGURAS E QUADROS

FIGURA 5.1	Desenhos esquemáticos do fuso muscular	20
FIGURA 5.2	Desenhos esquemáticos do órgão tendinoso de Golgi	40
FIGURA 5.3	Tipos de terminações articulares e suas respectivas distribuições no joelho humano	49
FIGURA 5.4	Esquema de um arco reflexo com estímulos de várias naturezas	54
FIGURA 5.5a	Esquema do reflexo de estiramento	56
FIGURA 5.5b	Esquema do reflexo tendinoso	56
FIGURA 5.6	Esquema das conexões do reflexo de inibição recíproca	58
FIGURA 6.1	Mecanismos reflexos de controle da força muscular	75
FIGURA 6.2	Esquema demonstrativo de algumas inibições e excitações reflexas ocorridas no alongamento	92
FIGURA 6.3	Técnicas de alongamento	94
QUADRO 5.1	Diferenças funcionais entre dois tipos de terminações fusais	22
QUADRO 6.1	Atividade neuromuscular no trabalho concêntrico	83
QUADRO 6.2	Atividade neuromuscular no trabalho excêntrico	83
QUADRO 6.3	Atividade neuromuscular no trabalho excêntrico -concêntrico	84
QUADRO 6.4	Atividade neuromuscular no trabalho isométrico	85
QUADRO 6.5	Atividade neuromuscular no trabalho isocinético	86
QUADRO 6.6	Atividade neuromuscular no alongamento ativo estático	97

LISTA DE FIGURAS E QUADROS

QUADRO 6.7	Atividade neuromuscular no alongamento ativo	
	dinâmico	97
QUADRO 6.8	Atividade neuromuscular no alongamento passivo	98
QUADRO 6.9	Atividade neuromuscular no método F.N.P.	99

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir os mecanismos reflexos proprioceptivos - evidenciados experimentalmente em situações de movimento e de controle postural – por serem inerentes também ao desenvolvimento da força muscular e da flexibilidade. Busca-se elaborar um conjunto de interpretações teóricas, de como tais mecanismos neurais influenciam, diferenciadamente, as principais técnicas de aperfeiçoamento dessas capacidades.

Trata-se de uma pesquisa de cunho bibliográfico, elaborada a partir da identificação, localização e compilação dos dados escritos de diversos estudos. Visou-se o aproveitamento e disposição ordenada do conhecimento existente - relacionado ao objeto de estudo - através das técnicas de análise e interpretação, levando-se em conta o pensamento dedutivo, para construir e desenvolver a relação entre as observações e considerações dos trabalhos utilizados.

A propriocepção representa a percepção espacial do corpo e de suas partes, em situações dinâmicas e estáticas. Esse sistema inclui basicamente: receptores sensoriais que detectam e sinalizam as deformações mecânicas, nos tecidos muscular e conjuntivo; fibras aferentes, responsáveis pela condução dos impulsos sensoriais até à medula; neurônios distribuidores, localizados em segmentos medulares e supramedulares, que enviam comandos excitatórios e inibitórios; e fibras eferentes, condutoras desses comandos até o músculo.

As principais propriedades físicas do músculo, reguladas pelo sistema proprioceptivo, são o comprimento das fibras, a velocidade com que esse tamanho muda e a tensão à qual elas são submetidas. Os fusos musculares respondem pelas duas primeiras propriedades, formando o reflexo de estiramento, que se destina ao controle das mesmas. Por sua vez, os órgãos tendinosos de golgi mediam a tensão muscular através do reflexo tendinoso, também chamado de reflexo de estiramento inverso.

No treinamento para desenvolver a força e a flexibilidade, ocorrem inúmeras alterações no estado mecânico do músculo e de tecidos adjacentes e, por conseguinte, no padrão de intensidade e freqüência da atividade dos dois reflexos mencionados acima. Isso acontece, em virtude da exigência funcional dos estímulos físicos, aplicados sistematicamente.

Para o aumento da flexibilidade utilizam-se algumas variações de uma técnica denominada alongamento, que pode ser classificada como: passivo, ativo e F.N.P.. Com o intuito de maximizar a força, empregam-se métodos que almejam obter níveis de tensão muscular mais altos, em relação àqueles produzidos nas atividades cotidianas. Tais metodologias são conhecidas como treinamento isotônico, treinamento isométrico e treinamento isocinético.

Esses dados permitem deduzir que, com o conhecimento a respeito da mediação dos reflexos proprioceptivos, durante as solicitações mecânicas do tecido muscular, a partir da aplicação dos métodos de aperfeiçoamento das capacidades em questão, é possível interferir no processo de INIBIÇÃO REFLEXA do músculo, minimizando-o. Isso possibilita, potencializar ao máximo as respostas adaptativas musculares, em cada circunstância específica.

ABSTRACT

The objective of this work is to present and to discuss the proprioceptive reflex mechanisms – evidenced experimentally in movement and postural control situations – for they are also inherent to the development of the muscular strength and flexibility. The search is to elaborate a group of theoretical interpretations, of the way such mechanisms influence, differently, the main techniques of improvement of those capacities.

It's a research of bibliographical stamp, elaborated starting from the identification, location and compilation of the written data of several studies. It was sought the use and orderly disposition of the existent knowledge – related to the study object – through the analysis techniques and interpretation, being taken into account the deductive thought, to build and to develop the relationship between the data and considerations of the used works.

The proprioception represents the spatial perception of the body and its parts, in dynamics and statics situations. That system includes basically: sensorial receivers that detect and signal the mechanical deformations, in the muscular and conjunctive tissues; afferent fibers, responsible for the conduction of the sensorial pulses to the spinal cord; distributor neurons located in medullary and supramedullary segments, that send excitatory and inhibitory commands; and efferent fibers, drivers of those commands to the muscle.

The main physical properties of the muscle, regulated by the proprioceptive system, are the length of the fibers, the speed with that size change and the stiffness to which they are submitted. The muscular spindles answer for the first two properties, forming the stretching reflex, that is destined to the control of the same ones. For its time, the golgi tendon organs intermediate the muscular stiffness through the autogenic inhibition, also called of inverse stretching reflex

In the training to develop the strenght and the flexibility, countless alterations in the mechanic state of the muscle and surrounding tissues occur and, consequently, in the intensity and frequency patterns of the activity of the two reflexes mentioned above. That happens by virtue of the functional demand of the physical stimulus, applied systematically.

For the increase of the flexibility some variations of a technique named stretchng are used, that can be classified as: passive, active and P.N.F.. With the proposal of improving the strenght, methods are used to obtain higher level of muscular stiffness, in relation to those produced in daily activities. Such methodologies are known as isotonic, isometric and isocinetic training.

Those data allow to deduce that with the knowledge about the mediation of the proprioceptive reflexes, during mechanical solicitations of the muscular tissue, starting from the application of the methods of improvement of the capacities in subject, it's possible to interfere in the process of REFLEX INHIBITION of the muscle, minimizing it. That enables enlarge to the maximum the muscular adaptability, in each specific circumstance.

1. INTRODUÇÃO

Há um número expressivo de pesquisas no campo da neurofisiologia destinadas a desvendar os processos de controle hierarquizado do sistema nervoso, durante os principais atos motores humanos. A locomoção tem sido exaustivamente investigada, talvez por se tratar de um quesito básico para nossa sobrevivência. O estudo de diferentes comportamentos que traduzem movimento também tem trazido importantes contribuições aos conhecimentos já alcançados.

Por movimento, podemos entender a ação executada pelo corpo que modifica, de qualquer modo, sua relação com o espaço que o cerca. Basicamente todo movimento é uma alteração de postura, ou seja, de sua posição no espaço (Esbérard,1991).

Postura pode ser definida como o arranjo conjugado das partes corporais para uma atividade específica, ou uma maneira característica de uma pessoa sustentar seu corpo contra a força da gravidade. Assim, postura e movimento estão intimamente ligados, pois o movimento pode começar com uma postura e terminar em outra (Lehmkuhl & Smith,1987).

O controle postural é considerado um pré-requisito para todos os movimentos e atividades físicas humanas que necessitam de coordenação sensório-motora (Mesure & Crémieux,1992).

Em relação ao controle motor, Meinel (1984) cita Bernstein como um dos precursores na determinação do significado para tal conceito. O autor também estabelece que a coordenação motora é a harmonização de todos os parâmetros de movimento, no processo de interação entre o indivíduo e o meio ambiente.

Do ponto de vista fisiológico, podemos compreender esses parâmetros como as estruturas e mecanismos do sistema nervoso, periférico e central, que recebem sinais e processam comandos de forma contínua. O *input* deste sistema é feito através dos reflexos proprioceptivos.

Estes mecanismos reflexos são compostos de receptores internos localizados no ventre dos músculos, nas junções miotendinosas, nas articulações e em algumas camadas mais profundas do tecido cutâneo. Eles respondem às mudanças de posição e velocidade dos segmentos corporais e à tensão muscular. Tais informações são geradas antes e/ou durante o curso do movimento. O termo PROPRIOCEPÇÃO representa a percepção espacial do corpo em situações dinâmicas e estáticas (Kreighbaum & Bartheis, 1985).

Grande parte do universo de atuação da educação física apresenta uma diversidade de circunstâncias que envolvem movimento e posturas dinâmicas, tanto na atividade escolar, como nos esportes e nas atividades relacionadas com deficiência. As formas de manipulação do movimento são ferramentas imprescindíveis para o profissional dessa área.

Podemos constatar que inúmeros trabalhos científicos têm investido esforços, para conhecer os mecanismos neurais que compõem esse fenômeno. Sabemos que determinados princípios da regulação motora, comprovados experimentalmente, deram origem a algumas propostas metodológicas voltadas para distintas atividades físicas (Meinel,1984). Como as modificações biomecânicas das estruturas humanas, envolvidas no movimento, são mediadas pelos proprioceptores, e o movimento é objeto de estudo e explicação da educação física, acreditamos que seja necessária a compreensão do papel da propriocepção no controle dos movimentos. Assim, percebemos que o estudo da propriocepção é pertinente e aplica-se às questões da área.

Atualmente, a atividade física é considerada como um instrumento útil, empregado universalmente pela educação física e áreas afins, sendo fundamental para a ação de seus profissionais, em diversas circunstâncias. Em nossa concepção, é importante uma abordagem que analise a aplicação do objeto de estudo deste trabalho, em situações específicas de atividade física.

Apesar dos diferentes perfis que a atividade física pode abranger, há sempre uma preocupação comum com a aptidão física, quer seja para promovê-la, aperfeiçoá-la ou recuperá-la. Aptidão física pode ser expressa por um conjunto de capacidades ou requisitos necessários para exercer uma determinada atividade motora (Aulete,1970). Dentre as várias qualidades físicas que contribuem para a melhoria da aptidão geral, destacamos a força muscular e a flexibilidade, quase sempre presentes em programas de exercícios direcionados para a saúde e performance desportiva.

Em relação às metodologias que aperfeiçoam essas capacidades, percebemos que existem algumas lacunas entre as propostas dos teóricos que estabelecem os mecanismos de atuação fisiológica, em situações nem sempre reproduzíveis no dia-a-dia, e dos empiristas, que discutem as conseqüências provenientes de diferentes formas de estímulos, sem a devida fundamentação dos princípios geradores das adaptações.

Intencionamos demonstrar que a formação acadêmica da área pode ser beneficiada com a incorporação desta base de conhecimento. Assim, poderemos colaborar para uma melhor fundamentação teórica das atividades práticas, que, por muitas vezes, parece gerar mais controvérsias do que consenso, a respeito da adequação de princípios científicos da atividade física em diferentes circunstâncias, tais como : deficiência física, performance esportiva e programas de exercícios para melhoria da condição física e com caráter profilático de saúde.

O presente estudo se compõe de sete capítulos, além do capítulo da introdução: 1) no segundo capítulo são definidos os objetivos do trabalho; 2) o terceiro capítulo descreve a forma e a metodologia empregadas na elaboração da dissertação; 3) o quarto capítulo pretende justificar e embasar o objeto de estudo do trabalho, sob a perspectiva de teorias biológicas evolucionistas. Acreditamos que este tipo de abordagem possa propiciar uma reflexão mais ampla sobre a questão da ADAPTAÇÃO, em situações que envolvem diferentes mecanismos de atividade física; 4) o quinto capítulo descreve as ações e funções da propriocepção, procurando elucidar a relação com a motricidade e o controle postural; 5) no sexto capítulo da dissertação, realizamos a

discussão das aplicações metodológicas dos treinamentos de força muscular e de flexibilidade, amplamente empregados nas intervenções práticas da educação física e áreas afins. O desenvolvimento dessas capacidades é analisado em diversas manobras diferentes, vinculando-as à mediação das estruturas e mecanismos proprioceptivos, nas diferentes demandas funcionais de cada uma das manobras; 6) O sétimo capítulo está direcionado à descrição das conclusões; 7) Finalmente, o oitavo capítulo se reserva à descrição de todo material bibliográfico utilizado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar e discutir as estruturas e os mecanismos do sistema proprioceptivo relacionados com o movimento e a postura, enfocando situações e intervenções práticas presentes na dimensão da educação física e de áreas correlatas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar os conteúdos sobre a propriocepção, vinculando-os à plasticidade do sistema neuromuscular, durante o desenvolvimento das capacidades de força muscular e flexibilidade, através da descrição de algumas manobras práticas.

Buscar melhor fundamentação teórica das diferentes aplicações metodológicas das qualidades físicas citadas, em situações vivenciadas no campo de atuação da educação física.

3. METODOLOGIA

Com o intuito de formar um substrato teórico para a discussão do tema “**o papel da propriocepção no desenvolvimento da força muscular e da flexibilidade**”, realizamos uma pesquisa de revisão bibliográfica, para acessar dados relativos à temática proposta. Isso nos possibilitou a aquisição significativa de informações vinculadas a um corpo de conhecimento comum à prática do professor de educação física e de outros profissionais da área de saúde.

O levantamento bibliográfico abrangeu o período situado entre a década de 60 até 1996. Também investigamos e utilizamos algumas referências esporádicas de anos anteriores, que deram subsídio às formulações das pesquisas e teorias mais recentes, situadas entre as décadas de 80 e 90, sendo este último período, o mais profundamente analisado. Seguindo o argumento de Futuyama (1993a), acreditamos que em boa parte das teorias científicas, as idéias predominantes e mesmos as questões formuladas são produtos do seu desenvolvimento histórico.

As fontes de pesquisa utilizadas foram: as bibliotecas do Instituto de Biologia, da Faculdade de Ciências Médicas e da Faculdade de Educação Física da UNICAMP e a biblioteca da Faculdade de Medicina da USP. Nestas, foram consultadas de forma direta, principalmente as bases de dados *medline* (edição *silver platter*), *biological abstracts*, *index medicus*, assim como vários periódicos pertinentes ao tema. Indiretamente, através do sistema *comut*, foi conseguido o material

bibliográfico selecionado que não se encontrava em nenhuma das bibliotecas citadas.

A pesquisa bibliográfica, feita por meio de localização, identificação e transcrição de dados de livros, de artigos em periódicos e de publicações de órgãos oficiais, foi estruturada pelo sistema de fichamento, objetivando abranger todas as informações consideradas relevantes e, de maneira resumida, informar o seu conteúdo. Este processo constou dos seguintes tópicos:

- ↳ palavras-chave
- ↳ problemas
- ↳ objetivo
- ↳ teorias abordadas
- ↳ resultados
- ↳ hipóteses
- ↳ conclusões

Os termos utilizados no tópico “palavras-chave” foram: propriocepção, cinestesia, proprioceptores, mecanoreceptores, fuso muscular, órgão tendinoso de golgi, receptores articulares, treinamento de força, treinamento de flexibilidade.

Segundo Lakatos & Marconi (1989), este tipo de fichamento é definido como de resumo ou de conteúdo, não possuindo julgamentos pessoais ou de valor. Uma vez fichado e organizado por temas, o material se destinou para a redação da dissertação, onde foi possível cruzar e explorar as idéias dos diversos autores em função do tema. Segundo Severino (1991), passamos para uma etapa interpretativa do material

coletado, onde se buscou situar o trabalho do autor no contexto mais amplo da área na qual foi proposto o estudo, associando suas idéias com outras semelhantes que tenham sido abordadas de forma diferente.

Após o levantamento e fichamento do material bibliográfico seguiu-se a etapa de análise e interpretação dos dados. De acordo com Marconi & Lakatos (1988), a análise e interpretação dos dados são duas atividades distintas, mas estritamente relacionadas. “A análise é a tentativa de evidenciar as relações existentes entre o fenômeno estudado e outros fatores”. Já, “a interpretação é a atividade intelectual que procura dar um significado mais amplo às respostas, vinculando-as a outros conhecimentos. Em geral, corresponde à exposição do verdadeiro significado do material apresentado, em relação aos objetivos propostos e ao tema”. Para Severino (1991), interpretar em sentido restrito, é tomar uma posição própria a respeito das idéias enunciadas, é superar a estrita mensagem do texto, é ler nas entrelinhas, é forçar o autor a um diálogo, é explorar toda a fecundidade da idéias expostas, é cortejá-las com outras, enfim, é dialogar com o autor.

Acreditamos que pesquisas com este perfil possam servir como ponto de partida para novas propostas de trabalho e futuras reflexões, visto que informações de bases neurofisiológicas pertinentes à área ainda são escassas na literatura corrente.

4. TEORIA DA ADAPTAÇÃO

Como a abordagem do trabalho refere-se às adaptações das estruturas e mecanismos proprioceptivos, sob condições de demanda funcional diferenciadas, impostas pelo movimento, pela postura e também pela atividade física, achamos importante justificar e embasar, através da perspectiva das teorias da evolução biológica, como e por que todos esses processos ocorrem.

Todas as ciências, incluindo as biológicas, avançam através da proposição e reelaboração de modelos e de sua testagem, pela observação e experimentação. Assim, esses modelos podem ser representados verbal ou numericamente. Mesmo os de ordem matemática, mais complexos, são descrições intencionalmente muito simplificadas da natureza. Na verdade, eles não foram imaginados para reproduzir a complexidade real; ao contrário, dispõem-se a abstrair os parâmetros mais globais e significativos de um processo. Porém, os fatores atuantes em circunstâncias individuais são muito mais intrincados e abundantes do que o modelo geral pode abranger, não permitindo a este o detalhamento de eventos subseqüentes. Neste caso, o papel dos modelos na biologia evolutiva é determinar as circunstâncias sob as quais os fatos hipotetizados têm maior ou menor chance de acontecer; contribuindo, desta maneira, com uma gama limitada de argumentações prováveis para as observações (Futuyma, 1993a).

Basicamente, as teorias da evolução estabeleceram que todos os organismos vivos, incluindo a espécie humana, estão naturalmente sujeitos à mutabilidade, fato bem ressaltado por Darwin. Lamarck, por sua vez, postulou que essas mudanças são direcionadas pelo ambiente e que alterações deste modificam as necessidades do organismo, desencadeando, assim, respostas diferenciadas desses mesmos organismos, forçando o uso e/ou desuso de estruturas orgânicas, o que acaba acarretando alteração na morfologia e a conseqüente transmissão da nova situação às gerações seguintes (Futuyma, 1993a). Porém, hoje sabemos que Lamarck estava em parte equivocado, porque a idéia de transmissão imediata de gens modificados não é verdadeira.

Neste contexto, podemos observar e extrair uma importante evidência, que se aplica ao cerne do nosso trabalho: a ADAPTAÇÃO, à qual se sujeitam os componentes e sistemas frente a diferentes estímulos, é parte integrante, inata, do comportamento funcional do organismo, constituindo-se desta forma, como relevante e significativo objeto de estudo, na abordagem da atividade motora humana.

Outro conceito igualmente valioso, descoberto por geneticistas (que resgatam idéias de Mendel), revelou que as características adquiridas não são herdadas, ou seja, que as variações no comportamento orgânico podem existir sem que haja a necessidade de modificação do conteúdo do material genético (Futuyma, 1993a, Gould, 1989). Isto nos ajuda a entender as infinitas possibilidades funcionais dos mecanismos proprioceptivos que, ao serem estudados sob diversas condições, mostraram respostas quase sempre diferentes em algum aspecto, denotando uma amplitude adaptativa abrangente.

Confirmando nossa asserção, utilizamos um dos princípios fundamentais da síntese moderna: “a maior parte das variantes genéticas adaptativas apresentam pequenos efeitos fenotípicos individuais, de tal modo que as mudanças fenotípicas são graduais”, determinando as características presentes como produtos resultantes da história evolutiva (Futuyma, 1993a). Um exemplo que ilustra perfeitamente essa condição de comportamento modificado, encontra-se na evolução encefálica do homem. A ampliação anatômica do encéfalo decorreu do processo evolutivo histórico na mudança para a postura bípede. Apesar do aumento do cérebro ter sido padrão em toda a raça humana, a propriedade desta complexa estrutura permite e conduz uma manifestação qualitativamente diferenciada no comportamento de cada indivíduo, ou seja, a mesma estrutura possibilita uma plasticidade funcional muito abrangente (Gould, 1989).

Todo esse panorama teórico, leva-nos também a discernir as mais extremas respostas fisiológicas do organismo, em particular dos receptores proprioceptivos (principalmente os fusos musculares e órgãos tendinosos de golgi), em condições tanto de total inatividade, quanto de grandes níveis de treinamento físico, visto que o sistema neuromuscular, no qual essas estruturas estão localizadas, provavelmente, seja o mais adaptável de todos os sistemas orgânicos, como foi verificado por Changeaux (1991c), ao elucidar a variabilidade fenotípica existente já nas fibras musculares embrionárias.

Na tentativa de demonstrar e explorar a importância da multiplicidade das ações proprioceptivas evidenciadas em diversos estudos, apoiamo-nos em outro argumento de Changeaux (1991b): “descobrir a função exige um conhecimento de outra ordem, de natureza

dinâmica” (como as partes interagem ?)...”compreender o funcionamento do sistema equivale a um problema de comunicação entre as partes”.

Ao buscarmos a especificação na contribuição desses receptores, em ações isoladas e conjuntas, reconhecemos a necessidade de elucidar conceitualmente as variações adaptativas mostradas.

Changeaux (1991c), referindo-se a essas propriedades no sistema neural (as possibilidades individuais de adaptação), afirmou que a diferente expressão dos genes não revela diretamente esta ampla diversidade e o detalhamento das conexões entre neurônios, sugerindo um mecanismo combinatório de natureza epigenética, ou seja, não se processariam mudanças no material genético. Isto significa, na prática, que o arranjo estrutural do sistema nervoso de cada indivíduo é particularizado, apesar de possuir a mesma concepção, o que possibilita diferentes respostas funcionais do organismo humano, frente a inúmeros tipos de solicitação fisiológica. Tal mecanismo denomina-se PLASTICIDADE. Essa variabilidade das conexões nervosas justifica a multiplicidade das particularidades neurais, sem a exigência de recorrer a qualquer combinação gênica.

Futuyma (1993b) corroborou a mesma idéia, ao preconizar que “a norma de reação do genótipo humano é extremamente ampla”, possibilitando essa maleabilidade funcional do organismo que, por vezes, se mostra bastante complexa. Este pensamento ilustra adequadamente o comportamento não-linear dos mecanorreceptores proprioceptivos, embora as respostas conjugadas desses receptores sensoriais a padrões de mudança no comprimento e tensão do músculo, sejam normalmente lineares.

A postura foi um dos aspectos selecionados na abordagem deste estudo, porque parece estar ligada a um dos momentos mais significativos do salto evolucionário de nossa espécie e porque é vista como uma circunstância usualmente utilizada na investigação de mecanismos sensoriais.

Os humanos atuais diferem dos primeiros hominídeos na estrutura da coluna vertebral e da pelve e na configuração da perna e do pé, associadas à mudança para a forma do bipedismo. Outras modificações estruturais (provavelmente, uma das mais importantes tenha sido a do cérebro bastante aumentado, supostamente vinculado à capacidade de expressar-se através da linguagem e a outros comportamentos mais elaborados) foram observadas por meio de evidências anatômicas, macromoleculares e cromossômicas, entre os grandes macacos e o homem atual, divergentes há mais ou menos quatro a oito milhões de anos, de um ancestral comum. Apesar de ambos possuírem os mesmos músculos e ossos, o que os diferenciava eram alterações na forma (Futuyama, 1993b; Changeaux, 1991a).

Desde as primeiras experiências de Sherrington (um dos precursores do estudo da propriocepção), o mecanismo postural tem sido uma das maneiras mais exploradas para evidenciar a contribuição das vias sensoriais no controle motor e para investigar a adaptação do movimento em ambientes modificados. Pode-se observar a regulação da postura através de informações sensoriais integradas, advindas também do sistema proprioceptivo (Lestienne & Gurfinkel, 1988).

Quanto à questão do movimento, Loeb (1989) reforça a necessidade de uma visão evolutiva e tece uma crítica às abordagens

metodológicas de controle motor. Ele afirma que, apesar do vasto conhecimento acumulado em diversas pesquisas a respeito dos componentes individuais da locomoção humana, não existe uma hipótese geral que explique bem como esses fatores agem conjuntamente durante o processo, isto é, as teorias do controle da locomoção necessitam de perspectivas que as fundamentem.

Dentro de uma abordagem evolucionária do controle neuromuscular, Loeb (1989) acredita que a solução gradual dos problemas de locomoção vinculou-se paralelamente às mudanças nos sistemas musculoesquelético e neural. Em todos os indícios, na maioria dos indivíduos, mutações aleatórias envolvidas em cada etapa evolucionária, afetaram somente um dos sistemas por vez. Para sobreviver, os organismos modificados deveriam, imediatamente, ter demonstrado uma performance satisfatória, de acordo com um critério multivariado de economia do dispêndio energético, produção de forças e/ou tensões, estabilidade e segurança. Somente depois de alcançados esses padrões, poderiam sobrevir os refinamentos evolucionários do controle motor. Um sistema neural regulador, bem sucedido, deveria ser capaz de adaptar-se delicadamente às mudanças mecânicas, durante a evolução das espécies, além de dar conta da questão do crescimento e do desenvolvimento individual.

Este pesquisador acredita, sob o perfil de uma óptica criteriosa, que estas considerações podem provar ser mais construtivas, no desenvolvimento e na testagem de hipóteses para um modelo de controle biológico, do que abordagens mais diretas dos circuitos neurais em organismos maduros, nos quais, detalhes podem obstruir a revelação dos princípios gerais dos mecanismos do movimento.

Teóricos das várias áreas devem endereçar não somente o problema da regulação motora do organismo, mas também, como este apresenta as soluções, calcadas em paradigmas da ontogênese e filogênese. A locomoção é um comportamento motor bem apropriado para esta abordagem, porque é necessária para a sobrevivência de quase todos os animais, garantindo, de forma intensa, a possibilidade de uma compelida e sistemática evolução.

5. O SISTEMA PROPRIOCEPTIVO: POSSIBILIDADES E LIMITES

5.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÕES OPERACIONAIS

Sherrington, 1906 (*apud* Evarts,1981), um dos pioneiros na pesquisa desta temática, definiu proprioceptores como “receptores profundos que reconhecem as ações do próprio organismo,...desde que...o estímulo ao receptor seja provocado pelo organismo,...”. Por sua vez, Rothwell (1994) acrescenta que “os órgãos proprioceptivos sinalizam ao S.N.C. sobre a posição relativa das partes corporais”. Eles informam sobre as mudanças estáticas e dinâmicas de um segmento do corpo em relação a um outro sem, contudo, perceberem a influência da ação da gravidade. Também são capazes de sinalizar as tensões às quais são submetidos músculos e tecidos adjacentes.

Segundo Enoka (1994), a função básica dos receptores sensoriais é prover o sistema nervoso de informações sobre o estado interno das estruturas orgânicas e do ambiente externo. O papel específico desses receptores é converter energia de naturezas diversificadas em impulsos elétricos, processo conhecido como transdução. Tais impulsos são enviados ao sistema nervoso central (S.N.C.) para este monitorar o funcionamento de vários sistemas orgânicos; entre eles, o locomotor (músculo-esquelético). O autor classifica os diferentes tipos de receptores segundo três critérios: 1º) conforme sua localização anatômica (podendo ser exteroceptor, proprioceptor ou interoceptor); 2º) quanto à sua função

(mecanoceptor, termocceptor, fotoceptor, quimioceptor e nocioceptor); 3° quanto à sua morfologia (terminações nervosas livres e terminações nervosas encapsuladas).

Adotamos a definição funcional de Enoka (1994), abordando em nosso trabalho somente os mecanocceptores proprioceptivos, que descreveremos a seguir, separadamente.

5.2 FUSO MUSCULAR

5.2.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Trata-se de um receptor de estrutura complexa, com formato fusiforme (largo na porção central, afinando-se em direção às extremidades), situado no perimísio muscular e que varia de 0,5 a 13 mm de extensão. Compõe-se de quatro a dez fibras musculares intrafusais estriadas, envoltas na sua parte mediana por uma cápsula de tecido conectivo, contendo líquido no interior (Canelas et al.,1983; Wei et al.,1986a; Lehmkuhl & Smith,1987; Corvo,1989; Hunt,1990). Esta cápsula isola mecanicamente as fibras intrafusais (FIF) das fibras musculares esqueléticas, chamadas extrafusais (FEF) (FIGURA 5.1a).

As FIF se ligam às membranas que recobrem as FEF e se dispõem em paralelo umas com as outras, sendo que ambos os tipos de fibras se ligam, direta ou indiretamente, aos tendões (FIGURA 5.1b). Cada FIF apresenta dois pólos contráteis separados por uma região equatorial desprovida de miofibrilas (onde se localizam os núcleos). Distinguem-se

dois tipos principais de FIF: as fibras com aglomerado nuclear (de 6 a 10 mm de comprimento e 25 mm de diâmetro) e as fibras com núcleos em cadeia (com 3 a 4 mm de comprimento e cerca de 12 mm de diâmetro). Essas fibras servem de suporte às terminações sensitivas primárias e secundárias (FIGURA 5.1c).

As duas classificações, utilizadas usualmente, para distinguir os tipos de terminações do receptor fusar, são baseadas na velocidade de condução de seus axônios e correspondem às fibras do grupo I e II, respectivamente (Wei et al., 1986a; Rothwell, 1994).

Dependendo da especificidade do músculo na ação motora, este pode ter um número de fusos que varia de seis a um mil e trezentos (Enoka, 1994), sendo que a densidade relativa (número de fusos por grama de tecido muscular) é maior nos músculos responsáveis pelos movimentos mais delicados (Canelas et al., 1983; Rothwell, 1994).

As terminações sensitivas primárias, presentes nos dois tipos de FIF (uma terminação para cada FIF), são constituídas por diversas ramificações terminais, que se enrolam em torno da região nucleada da fibra. Essa terminação é também chamada anuloespiral.

As terminações sensitivas secundárias (de 0 a 5 por FIF) situam-se nas fibras com núcleo em cadeia, a uma distância variável da região equatorial e são conhecidas como terminações em inflorescência ("*flower spray*"), devido às ramificações irregulares que algumas delas apresentam. Entretanto, muitas dessas terminações se enrolam em torno da fibra, de modo semelhante ao das terminações primárias.

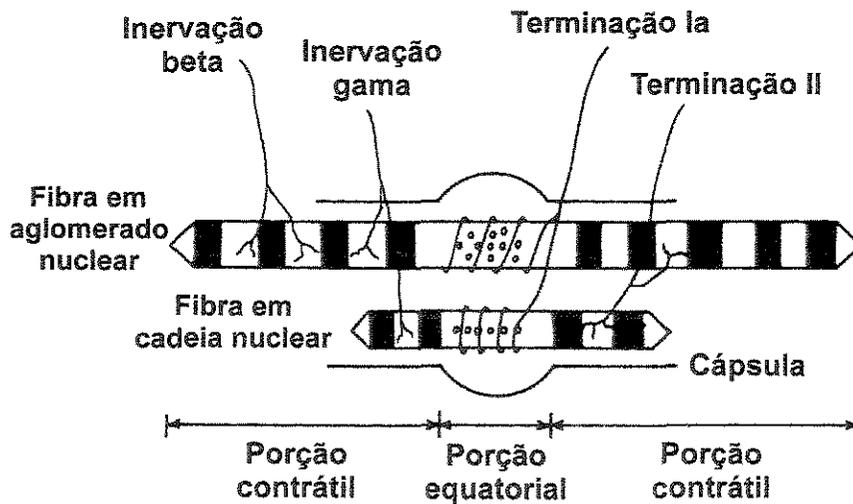
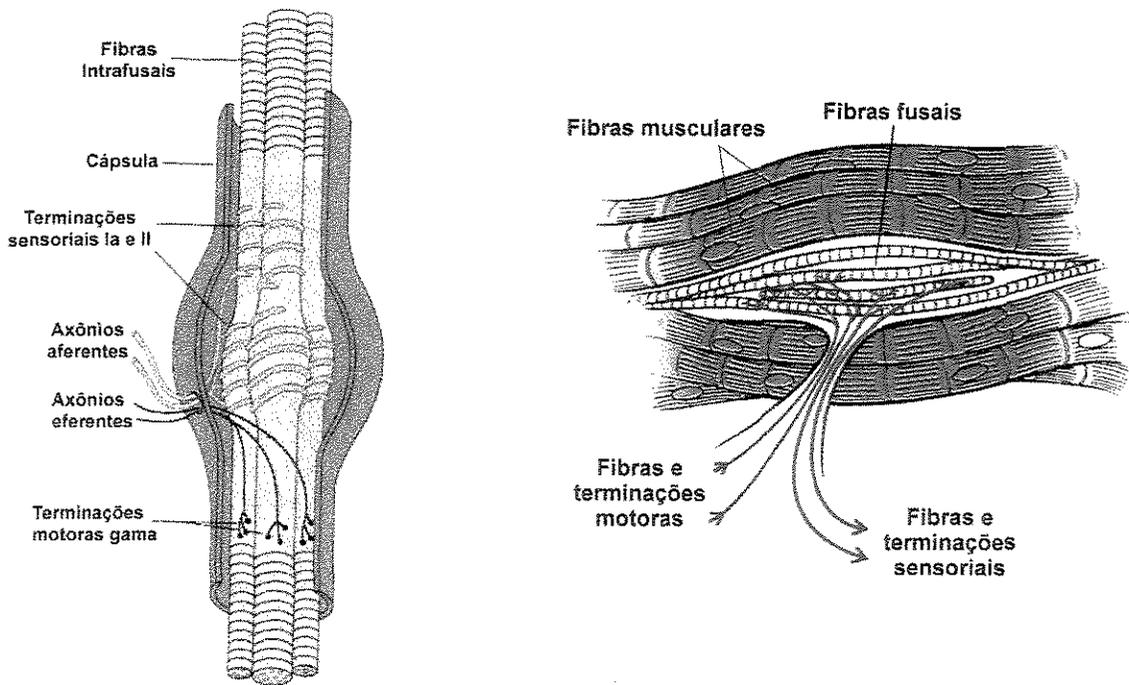


FIGURA 5.1 Desenhos esquemáticos do fuso muscular : (A) a unidade funcional do receptor (Kandel et al., 1995); (B) disposição anatômica entre o receptor fusar e o tecido muscular esquelético (Hamill, 1995); (C) representação de todas as partes que o compõem (Enoka, 1994)

5.2.2 CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

Este tipo de receptor é capaz de detectar as alterações no comprimento do músculo, bem como a velocidade com que elas ocorrem. Ao se submeter a um alongamento, o músculo promove o estiramento do fuso muscular (devido à disposição em paralelo com as fibras extrafusais), estimulando, conseqüentemente, as terminações primárias e secundárias. Por outro lado, quando há contração da musculatura extrafusar, há diminuição ou anulação da ativação de tais terminações.

Os fusos musculares controlam este parâmetro por meio de um mecanismo de *feedback*. A estimulação das terminações fusais produz um efeito excitatório sobre os motoneurônios alfa na medula, os quais, por sua vez, geram a retroalimentação do sistema, enviando comandos motores para que a contração muscular ocorra, reduzindo desta forma, o comprimento do músculo estirado e a seqüência de descarga do receptor fusar (Hasan & Stuart, 1988; Hunt, 1990; Rothwell, 1994).

Há também, uma outra forma de ativação do receptor, independente da modificação do comprimento da fibra intrafusar. Ela ocorre via impulsos eferentes dos neurônios e fibras gama (γ), determinados por comandos supra-espinhais. Neste sistema, os motoneurônios gama e alfa interagem, formando, segundo Rothwell (1994), “uma unidade funcional” denominada coativação alfa-gama (α - γ). Tal forma de controle destina-se à manutenção de um tônus mínimo do músculo agonista e também às inibições recíprocas dos músculos antagonistas (heterônimos) (Kandell et al, 1995).

Os estímulos que se originam nas terminações primárias e secundárias são conduzidos à medula, respectivamente, pelas fibras Ia (grossas e de condução rápida) e II (mais delgadas e de condução mais lenta). Ambas as terminações são sensíveis ao estiramento da parte central (ou equatorial) não contrátil da FIF, sendo que a estimulação das terminações aumenta no estiramento da região equatorial e diminui quando este decresce. Entretanto, há diferença entre os dois tipos de terminações (Canelas et al., 1983; Hunt, 1990, Rothwell, 1994) (QUADRO 5.1).

	TERMINAÇÃO PRIMÁRIA	TERMINAÇÃO SECUNDÁRIA
LIMIAR DE EXCITAÇÃO NO ESTIRAMENTO E NO RELAXAMENTO	MENOR	MAIOR
SENSIBILIDADE À VELOCIDADE DE ESTIRAMENTO	MAIOR	INEXISTENTE
SENSIBILIDADE AOS ESTÍMULOS FÁSICOS (CURTA DURAÇÃO)	MAIOR	MENOR

QUADRO 5.1 Diferenças funcionais entre as duas terminações fusais.

A inervação motora das FIF é devida, principalmente, aos axônios gama (γ), cujos motoneurônios, situados na coluna anterior da medula espinhal, provocam a contração das porções polares das FIF. Esta ação acarreta um estiramento da porção equatorial (não contrátil) e a conseqüente estimulação das terminações sensitivas. Há também os

axônios beta (β), (que se supõe serem ramificações colaterais dos axônios alfa (α) que se ligam às FEF), os quais inervam as FIF em aglomeração nuclear (Enoka,1994; Corvo,1989; Lehmkuhl & Smith,1987; Canelas et al.,1983).

Os impulsos provenientes dos fusos musculares não têm sua ação restrita ao nível segmentar, pois as fibras Ia e II estabelecem sinapses com neurônios que se dirigem ao cérebro, através dos tratos espinocerebelares, existindo evidências de que as do tipo Ia projetam-se também sobre o córtex sensitivo motor, via tálamo (Lehmkuhl & Smith,1987).

5.2.3 REGISTROS EXPERIMENTAIS DA ATIVIDADE DOS FUSOS NO MOVIMENTO

Do ponto de vista da elaboração e controle do movimento, os receptores que parecem estar mais envolvidos no processo, são os mecanorreceptores neuromusculares, por sua localização e participação reguladora na atividade muscular.

Cada músculo possui o seu próprio conjunto de órgãos sensoriais, que registram as condições mecânicas a que ele é submetido, incluindo o tamanho e a velocidade dos estiramentos e encurtamentos, assim como a tensão produzida nestas situações. A ação das aferências fusais representa uma complexa soma das mudanças extrínsecas do tamanho do músculo e das contrações intrínsecas das fibras musculares intrafusais (Loeb,1989).

Através de uma revisão de literatura, Evarts (1981) destaca que os sinais advindos das aferências fusais são importantes, minimizando as conseqüências de pequenos distúrbios internos, implicando que a instabilidade postural deveria aumentar quando os *inputs* dos fusos musculares fossem eliminados.

Este mesmo fato foi demonstrado pelo trabalho de Goodwin et al., 1978 (*apud* Evarts, 1981), no controle voluntário dos movimentos do maxilar do macaco. Estes autores notaram que a musculatura de oclusão do maxilar fornecia oportunidade única para perturbar as aferências do reflexo de estiramento da mandíbula, com um mínimo dano ao resto da inervação sensorial da região. Neste estudo concluíram que a interrupção cirúrgica do arco reflexo levaria a um considerável aumento na amplitude do tremor espontâneo, durante toda a fase de contração da musculatura da mandíbula, sugerindo um importante papel para as aferências fusais, “na redução dos erros do comprimento muscular produzidos pela flutuação dos níveis de descarga motora ...”.

Também foi evidenciado que o reflexo de estiramento contribui notavelmente para o controle da tensão muscular, em resposta aos distúrbios externos, envolvendo pequenos estiramentos contínuos de 1 mm, nas proximidades do músculo. Neste experimento, 1 mm de movimento do maxilar correspondeu a 1° (um grau) de extensão na articulação temporomandibular, representando assim, um movimento relativamente pequeno em comparação a toda amplitude de movimento disponível no maxilar do macaco. A interrupção do arco reflexo de estiramento das aferências do maxilar reduziu a resistência ao estiramento para menos da metade do que apresentavam os animais intactos.

Registros da atividade das aferências fusais no homem, do trabalho de Valbo, 1973 (*apud* Evarts, 1981), deram uma marcante demonstração da alta sensibilidade dinâmica do sistema reflexo, quanto às pequenas irregularidades do movimento geradas internamente, do mesmo modo que acontece na tênue manutenção do encurtamento durante a contração muscular isotônica. O pesquisador ponderou que este mesmo sistema reflexo, extremamente sensível, deveria ser relativamente ineficaz na compensação de distúrbios de cargas maiores, provocados externamente.

Quando um estímulo vibratório é aplicado no fuso muscular, uma contração reflexa do músculo (reflexo tônico de vibração) é provocada pela descarga das fibras aferentes na nas terminações primárias; entra pelo corno posterior e é conduzida aos corpos celulares dos neurônios aferentes do corno anterior da medula espinhal. Quando a vibração estimula o músculo soleus, um aumento da oscilação corporal para trás, a partir da posição ereta, é observado. Em contraste, a vibração pode ser aplicada no músculo tibial anterior e a chamada “oscilação da imagem refletida”, ou “mudança para frente” pode ser observada (Nakagawa et al., 1993).

Wei et al. (1986b) abordaram em seu estudo, a sinalização dos ângulos articulares através da ação dos fusos musculares. Acreditando que os sinais aferentes de receptores musculares pudessem ser aferidos, na medula, antes de ascenderem às vias supra-segmentares, utilizaram em seu experimento gatos adultos, que foram anestesiados para a supressão de mecanismos reflexos e que tiveram os músculos dos seus membros posteriores denervados, exceto o soleus. Tais autores concluíram que o sistema nervoso central deve conhecer o nível da ação

fusimotora na avaliação dos ângulos articulares, justamente porque qualquer mudança na modulação gama (γ) pode alterar a atividade dos fusos, sem uma alteração no ângulo articular.

Uma outra característica da ativação dos fusos musculares sob condições passivas, demonstra que a atividade total da aferência muscular que alcança o sistema nervoso central aumenta, progressivamente, à medida que a articulação é movida da posição intermediária para as posições final e/ou inicial do movimento; e que, de outro modo, a intensidade das sensações cinestésicas aumenta menos diante das mesmas circunstâncias.

Wei et al. (1986b) também apontaram que diferentes receptores fusais sinalizam diferentes tipos de informação sensorial, de acordo com o limiar de adaptação, fásica ou tônica. A partir da posição estática, os receptores de adaptação fásica emitem frequências substancialmente mais altas, durante o movimento articular em que o músculo aumenta o seu tamanho. Esses sinais podem informar a velocidade do movimento articular, mas não conseguem informar sobre a posição da articulação sem que antes haja um "breve processamento" pelo S.N.C.. Durante o encurtamento muscular tais receptores não conseguem sinalizar velocidades de deslocamento menores que 10° (dez graus) por segundo, conforme foi verificado nos experimentos. Portanto, as terminações tipicamente fásicas, caracterizam-se por possuir uma bem desenvolvida resposta estática, através das descargas elétricas que mudam, sistematicamente, em função dos diferentes ângulos articulares. Contudo, a frequência dessas descargas estáticas não informa, com

precisão, cada ângulo específico, por causa da adaptação dos receptores e da direcionalidade linear das respostas.

Em experiências com humanos, a percepção da posição de um membro, movido passivamente, permanece essencialmente imutável por alguns milissegundos, após o término do movimento, isto é, existe uma pequena faixa de tempo para um ajuste adaptativo na margem de erro. Através deste estudo, ficou clara a complexidade a que se submete o S.N.C., quando faz uso dos sinais codificados pelos fusos musculares, na avaliação dos ângulos articulares.

A partir dos resultados observados, Wei et al. (1986b) citam as evidências apresentadas por Matthews (1977) e McCloskey (1978) em trabalhos anteriores, nos quais sugerem que os fusos musculares possuem um importante papel na sensibilidade cinestésica, sinalizando os ângulos articulares. Sob esta perspectiva, estabelecem duas possibilidades para o fornecimento dos *inputs* cinestésicos da sensação de posição: sinais que utilizariam um “código de localização” ou um “código de frequência”. No primeiro caso, a posição da articulação seria especificada de acordo com os receptores em posições distintas, à medida que a articulação fosse movida em toda sua amplitude. Na segunda hipótese, existiriam mudanças no nível de descarga dos receptores fusais, durante a variação de cada ângulo articular.

O estudo demonstrou que, pelo “código de localização”, as porções mais extremas dos ângulos, durante a flexão e extensão do tornozelo do gato, ficaram distorcidas; sendo mais provável, neste caso, a existência única do “código de frequência”. Foi sugerido também que a correção dos erros angulares ocorreria, possivelmente, através de

mecanismos apropriados da atividade fusimotora, ou que o S.N.C. processaria os *inputs* dos receptores, de tal maneira que os erros fossem corrigidos na frequência do sinal.

Também há evidências em trabalhos anteriores, sugerindo que os receptores fusais têm um papel na sinalização da posição do movimento articular (Eklund,1972; Goodwin et al.,1972). Um estudo completo das fibras ascendentes, na substância branca da medula que sinaliza a posição do membro, reforçou a importância do conhecimento de como a descarga desse receptor muscular varia com o ângulo articular (Wei et al.,1984). Hagbarth et al. (1973) detectaram uma divisão do eixo flexo-extensor do tornozelo, entre músculos agonistas e antagonistas em sujeitos humanos relaxados, o que vem ao encontro das observações do estudo de Wei et al. (1986), as quais revelam esta divisão na sinalização do ângulo da mesma articulação pelos músculos tibial anterior e solear, sob condições passivas.

Houk et al. (1981) avaliaram a sensibilidade dinâmica das terminações primárias e secundárias dos fusos, durante a aplicação de um alongamento no músculo sóleo de gatos decerebrados e anestesiados, e que também sofreram uma denervação nos outros músculos dos membros posteriores. Tais autores questionaram a ausência de uma adequada caracterização da resposta dinâmica das terminações fusais, baseados em dados de trabalhos anteriores, que enfatizavam indevidamente a resposta linear desses receptores, e que foram contestados por outros estudos, demonstrando ser a sensibilidade dinâmica, resultado de propriedades não lineares. A perda da proporcionalidade entre a sensibilidade dinâmica e a velocidade do alinhamento está evidente em vários trabalhos mais antigos (Cheney & Preston,1976; Hunt & Ottoson,1976; Lennerstrand &

Thoden,1968; Matthews,1963; Schaefer,1973 *apud* Houk et al.,1981), apesar de a importância deste aspecto ser freqüentemente negligenciada por esses autores.

Houk et al. (1981) contestam o uso do “índice dinâmico”, termo usado para medir o componente de resposta das terminações fusais em relação à velocidade, baseados nas afirmações anteriores. Portanto, a partir de observações colhidas, esses autores acreditam que a caracterização, altamente não linear da sensibilidade dinâmica das terminações fusais, não seja a soma da posição, velocidade e aceleração do músculo durante o alongamento, mas sim, um produto da relação entre o tamanho do músculo e uma baixa fração da velocidade imposta.

Os experimentos dos pesquisadores mencionados anteriormente, revelaram ainda que as terminações primárias são mais sensíveis às pequenas mudanças no comprimento das fibras musculares, do que às mais amplas. A sensibilidade das terminações primárias foi potencializada ao máximo em alongamentos lentos e, rapidamente, diminuiu à medida que a velocidade se elevou. Isto sugere que elas podem ser melhor adaptadas para detecção fásica (momentânea) do movimento do que para a sinalização precisa da velocidade na qual o movimento acontece.

Apesar de as duas terminações fusais obedecerem à mesma fração de dependência da velocidade, a magnitude desta subordinação é muito menor nas secundárias, que expressam uma faixa de sensibilidade mais duradoura no curso do movimento, mas, somente durante os momentos em que a dependência do tamanho do músculo se mantém constantemente linear. Portanto, temos assim uma importante

característica funcional das terminações secundárias. Estes achados contrapõem-se às freqüentes suposições de que as terminações primárias sinalizam a velocidade enquanto as secundárias informam o tamanho do comprimento muscular.

A partir das conclusões acima e de acordo com os dados levantados, foi hipotetizado que os componentes de sensibilidade estática e dinâmica são produzidos em vias de registro separadas. Considerando a detecção do movimento uma função relevante, as respostas dinâmicas devem manifestar-se imediatamente ao início deste. A identificação do estiramento do músculo pelas terminações primárias é importante, provavelmente, como um mecanismo preditor compensatório, para a atividade muscular na ação motora. Também pode ser relevante em funções supra-segmentares, tais como o início dos sinais proprioceptivos para efetivação do tempo de reação dos movimentos, visto que os sinais são os que produzem as respostas motoras reflexas mais rápidas.

Hutton & Nelson (1986) detectaram alterações na resposta ao estiramento dinâmico e estático dos receptores fusais (detectores do comprimento muscular), no músculo gastrocnêmio fadigado. Comparados a valores de controle antes da contração, significativos aumentos no nível de repouso da ativação, na freqüência durante o estiramento e, na freqüência durante a vibração, foram registrados por receptores fusais Ia e II, demonstrando, portanto, *inputs* proprioceptivos excitatórios aumentados nos motoneurônios alfa (α), durante a recuperação da fadiga.

A magnitude desta mudança pareceu ser mais dependente da intensidade e duração da estimulação intrafusar, do que dos

mecanismos produtores de fadiga propriamente ditos. Todavia, esta adaptação aguda deveria fornecer uma maior corrente excitatória dentro das unidades motoras, sofrendo um declínio na geração das tensões contráteis. Porém, a descarga dos fusos musculares interage de maneira reflexa a nível dos interneurônios, com os órgãos tendinosos de golgi (detectores de tensão), o que, predominantemente, fornece um *input* inibitório de curta latência para os mesmos *pools* motoneurais.

Sob condições passivas, os receptores musculares sinalizam em toda a amplitude do movimento articular, com agonistas e antagonistas dividindo igualmente a abrangência da faixa de movimentação. Quando a articulação é movida em uma região “não codificada” para um determinado músculo, o tendão deste diminui a tensão, o que pode ser facilmente verificado com o nosso próprio tendão de Aquiles (Hutton & Nelson, 1986).

Isto significa que para interpretar as descargas dos fusos em termos de ângulo articular, o sistema nervoso deve estar ciente se as fibras musculares esqueléticas (ou extrafusais) estão contraídas voluntariamente, para então corrigir esta folga no tendão, tornando possível a sinalização dos receptores fusais durante todo o movimento (Burgess et al., 1982). Contudo, a contração extrafusil sozinha tende a minimizar a atividade dos fusos e, por isso, o sistema motor gama (γ) interage com o sistema motor alfa (α), durante a maioria dos atos motores. O nível da atividade gama também deve ser conhecido, para possibilitar a interpretação da descarga dos fusos em termos de ângulo articular, visto que o aumento da ação fusimotora pode alterar a ativação desses receptores, na ausência de uma mudança do ângulo da articulação.

Burgess et al. (1982) preconizam que durante o movimento, a descarga dos fusos exibe uma faixa específica de sensibilidade. Essa propriedade é bem desenvolvida nas terminações primárias, e sua atividade é determinada muito mais pela velocidade do movimento que pelo ângulo articular.

Este conceito contrapõe as idéias do estudo de Houk et al.,1981, citado anteriormente. Parece-nos que a sensibilidade das terminações primárias à aceleração inicial do movimento consegue expressar mais adequadamente a diferença funcional entre as duas terminações.

A adaptação da descarga, após o membro em movimento tornar-se estacionário (“adaptação estática”), também modifica a relação entre a frequência da descarga fusil e o ângulo articular (Burgess et al.,1982). Dados citados por tais autores sugerem que primatas e gatos possuem fusos com propriedades similares e que músculos relaxados recebem pequeno suporte fusimotor. Portanto, é provável que a frequência de descarga dos receptores não seja usada direcionalmente para especificar os ângulos articulares, mas o sistema nervoso central processe esse *input* de alguma maneira.

Ainda não está claro para os pesquisadores, como os fusos dos músculos do tornozelo podem sinalizar os ângulos articulares, visto que as descargas fusais, em determinadas posições, são passíveis de ser alteradas por mudanças na posição dos joelhos ou dos dedos.

Após concluírem sua pesquisa, Burgess et al.(1982) sugerem que talvez o S.N.C. seja equipado para extrair um sinal confiável sobre a

posição articular, advindo das descargas fusais, as quais são sensíveis à direcionalidade e a uma amplitude de variação.

Segundo esses autores, a maneira mais provável de detectar a ocorrência do movimento articular, bem como sua direção, pode ser a comparação das descargas das terminações primárias e secundárias dos fusos. Quando o músculo aumenta seu comprimento, a descarga das terminações primárias é aumentada muito mais do que a das secundárias. Durante o encurtamento muscular, a descarga das terminações primárias é reprimida, provavelmente, de maneira mais acentuada em relação à das terminações secundárias.

O trabalho de Hulliger et al. (1989) propôs uma análise da atividade fusimotora, submetida a registros eletroneuromiográficos durante movimentos espontâneos da locomoção do gato, através de uma abordagem simulada. Objetivava-se, com isto, identificar, através de sucessivas tentativas, as características diferenciadas das terminações primárias e secundárias dos fusos, nos diversos movimentos executados.

Os resultados indicaram que a ação fusimotora durante os movimentos ritmados, apresentou uma significativa atividade tônica; fato que foi ligado à mudança da sensibilidade totalmente estática para a sensibilidade predominantemente dinâmica dos fusos, durante e após os alongamentos impostos e resistidos. Essa situação pode sofrer mudanças lentas e graduais, em performances motoras inusitadas. Também foi confirmado que movimentos contínuos e cíclicos, em ambientes habituais, evidenciam o domínio da ação fusimotora estática. Contudo, no início desses movimentos (ou fase de adaptação) houve ativação tanto dinâmica como estática. Após o decorrer de alguns poucos ciclos repetidos do ato

motor, a sensibilidade dinâmica gradualmente declinou enquanto a estática foi mantida. Quando os gatos foram submetidos a novas situações e quase perderam o equilíbrio, surgiram reações corretivas que foram acompanhadas por um importante aumento transitório da ação fusimotora dinâmica, o qual elevou intensamente a sensibilidade Ia ao alongamento muscular, quando o animal se abaixou para restabelecer o equilíbrio. Isto significa uma poderosa sensibilização das terminações primárias dos fusos a um rápido alongamento dos músculos extensores do tornozelo.

Permanece a possibilidade de que situações motoras inesperadas possam ser um dos quesitos promotores da ação fusimotora dinâmica, para interferir no feedback dos fusos, quando for necessário um desempenho motor específico.

5.2.4 REGISTROS EXPERIMENTAIS DA ATIVIDADE DOS FUSOS NO CONTROLE POSTURAL

Pyykkö et al. (1989) contribuíram com o estudo sistemático do papel dos fusos musculares, no controle postural de diferentes partes do corpo, elaborando um experimento que utilizou oito voluntários saudáveis, com idades entre 31 e 44 anos, mantidos na posição em pé, com os olhos fechados, e que foram analisados quanto ao relativo deslocamento da posição corporal sobre uma plataforma de força, antes e após a aplicação de vibrações (distúrbios) nos fusos dos músculos estudados. Os músculos verificados foram os do pescoço, tríceps sural, tibial anterior, bíceps femural, quadríceps femural, glúteo, eretor espinhal e reto abdominal.

Os resultados indicaram que o perfil das respostas dos músculos estudados, após a vibração, não obedeceu ao arranjo de agonistas-antagonistas, demonstrando que isso reflete propriedades funcionais dos fusos na determinação das estratégias de estabilização postural. As diferentes respostas de cada grupo muscular indicam que as aferências musculares foram usadas para variar o âmbito do controle da postura. Independentemente da localização anatômica desses músculos, os sinais dos fusos provocaram sinergismo durante as oscilações corporais, sugerindo direcionar a estabilidade postural de maneira intencional.

Diante desses fatos, os pesquisadores sugeriram que diferentes músculos podem ter diferentes funções no controle motor: alguns seriam mais efetivos durante a locomoção, enquanto outros atuariam mais intensamente na estabilização da postura; portanto, estaria correto pressupor que o controle da ação dos fusos musculares também pudesse variar entre os distintos músculos. Confirmando tal hipótese, os resultados deste estudo evidenciaram respostas mais intensas nos músculos do pescoço e do tríceps sural e, de menor efeito, no quadríceps e tibial anterior.

O significado da atividade dos mecanorreceptores dos músculos anteriores da tibia (chamados pré-tibiais) durante a posição ereta no homem, foi verificado por Aniss et al. (1990). A parte experimental do estudo foi realizada através de registro simultâneo da eletromiografia dos músculos tibial anterior e solear e do registro da oscilação ântero-posterior dos pés em uma plataforma de força (em duas posições: horizontal e reclinada cerca de 4 graus), com vários indivíduos colocados em pé, estáticos. Durante o experimento, tais sujeitos se submeteram a

uma série de situações como : supressão da visão; supressão de um suporte para as mãos; declínio abrupto da cabeça e indução de perturbações externas do equilíbrio - voluntárias e involuntárias - para verificar a ênfase do feedback proprioceptivo no controle do equilíbrio.

Os resultados mostraram que as mudanças posturais produzidas pela oscilação corporal foram pequenas, mas documentaram alterações significativas na ação dos fusos dos músculos pré-tibiais, de sujeitos posicionados em pé, sob condições que exigiam ativação desses músculos para manutenção do equilíbrio postural.

Aniss et al. (1990) ressaltam ser importante perceber que os registros da atividade das aferências fusais consistem em uma medida indireta da ação fusimotora (motoneurônios gama ou motoneurônios beta).

O estudo também registrou evidências de uma maior atividade fusimotora: 1) do músculo tibial anterior, quando os sujeitos estavam de pé, na plataforma declinada em 4 graus, mesmo após o encurtamento muscular; 2) e de todos os músculos pré-tibiais, quando a postura era perturbada intermitentemente, por oscilações provocadas intencionalmente, ou por distúrbios externos (ou seja, sempre quando eles eram ativados tonicamente para manter o equilíbrio). O efeito de pequenos graus de oscilação corporal, induzidos voluntariamente ou por estímulos externos (involuntariamente), ativou os músculos pré-tibiais para compensar a oscilação para trás, sendo acompanhado por uma descarga dos fusos musculares, que excedeu a descarga normalmente provocada por movimento similar, mas de natureza passiva.

5.2.5 SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS FUSOS

O fuso muscular é um receptor sensível às deformações mecânicas sofridas pelo músculo quanto ao seu comprimento e quanto à velocidade de alteração desse comprimento, atuando como um comparador em relação a esses parâmetros, entre ele e as fibras musculares circunjacentes.

A terminação primária do receptor sinaliza a velocidade do estiramento e a extensão de suas fibras, enquanto a terminação secundária informa apenas a extensão fusil.

Em relação à sua sensibilidade, essa estrutura exhibe tanto propriedades fásicas (terminação Ia), quanto tônicas (terminações Ia e II).

O fuso está presente em maior quantidade, proporcionalmente, nos músculos das regiões distais do corpo, por exemplo, na palma das mãos e na sola dos pés, a densidade relativa por grama de tecido muscular é bastante alta.

Há duas formas de ativação do receptor : via estiramento das fibras musculares (extrafusais) em paralelo a ele, ou através da contração das regiões polares das fibras intrafusais (causada por um comando supramedular, via eferência gama).

A partir dos *inputs* enviados por essa estrutura, forma-se o reflexo de estiramento (ou monossináptico), que é o mais simples entre todos os reflexos conhecidos e também, o de menor tempo de latência.

Alguns autores acreditam que o mecanismo do reflexo de estiramento, iniciado e mediado pelo fuso, seja importante no tônus muscular e postural (Lehmkuhl & Smith,1987; Esbérard,1991; Schmidt,1979).

5.3 ÓRGÃOS TENDINOSOS DE GOLGI

5.3.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Órgãos tendinosos de golgi (O.T.G.) são mecanorreceptores muito menos complexos do que o fuso muscular, formados por delgadas ramificações neurais em forma de ramalhete com pequenos botões, encontrados em quase todos os feixes dos músculos esqueléticos. Situam-se tipicamente nas junções miotendinosas, perfeitamente posicionados para monitorar a tensão das fibras musculares. As terminações Ib de cada receptor estão contidas dentro de uma cápsula fusiforme rodeada por feixes de colágeno (Rothwell,1994; Corvo,1989; Canelas et al.,1983; Jami,1992; Kandel et al.,1995) (FIGURA 5.2).

5.3.2 CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

Acredita-se que eles fornecem o *feedback* da tensão na regulação reflexa da contração muscular . Tal conceito foi demonstrado por Houk & Hennemann,1967 (*apud* Gregory et al.,1986), segundo os quais, cada receptor tendinoso respondia a um grupo selecionado de unidades motoras. A contração das unidades motoras que inervam o feixe de fibras, dispostas em série, fornece um estímulo específico para cada

órgão tendinoso (Bossavit et al.,1989). Apesar de a tensão muscular ser monitorada por tais receptores, nem todas as fibras musculares os possuem.

Os impulsos emitidos pelo O.T.G. são direcionados à medula por meio de axônios aferentes grossos (fibras Ib), de condução rápida. As informações alcançam essa estrutura, excitando os interneurônios inibitórios que, por sua vez, inibem os motoneurônios alfa do músculo homônimo, o qual se está contraindo, limitando a força desenvolvida em relação àquela que pode ser tolerada pelos tecidos tensionados. Lehmkuhl & Smith (1987) e Enoka (1994) observaram que os impulsos oriundos desses receptores não se direcionam somente à medula, atingindo também níveis supra-segmentares (cerebelo).

Estudos fisiológicos evidenciaram que os O.T.G. são sensíveis às forças exercidas em série com os receptores articulares (das cápsulas), se elas estiverem atribuídas a contrações musculares ativas, ou a estiramentos musculares passivos, ou a ambos (Alnaes,1966; Goslow et al.,1973; Houk,1967; Houk & Henneman,1967; Houk & Simon,1967; Houk et al.,1967; Jansen & Rudjord,1966; Matthews,1933; Stuart et al.,1970; Stuart et al.,1972 *apud* Stephens et al.,1975).

O nível de força necessário para excitar os O.T.G. depende da forma de solicitação das fibras: o estiramento passivo requer mais tensão para ativá-los, ao passo que a contração voluntária de uma única fibra muscular, que gera muito menos tensão que a do modo anterior, é suficiente para a condição de ativação destes receptores.

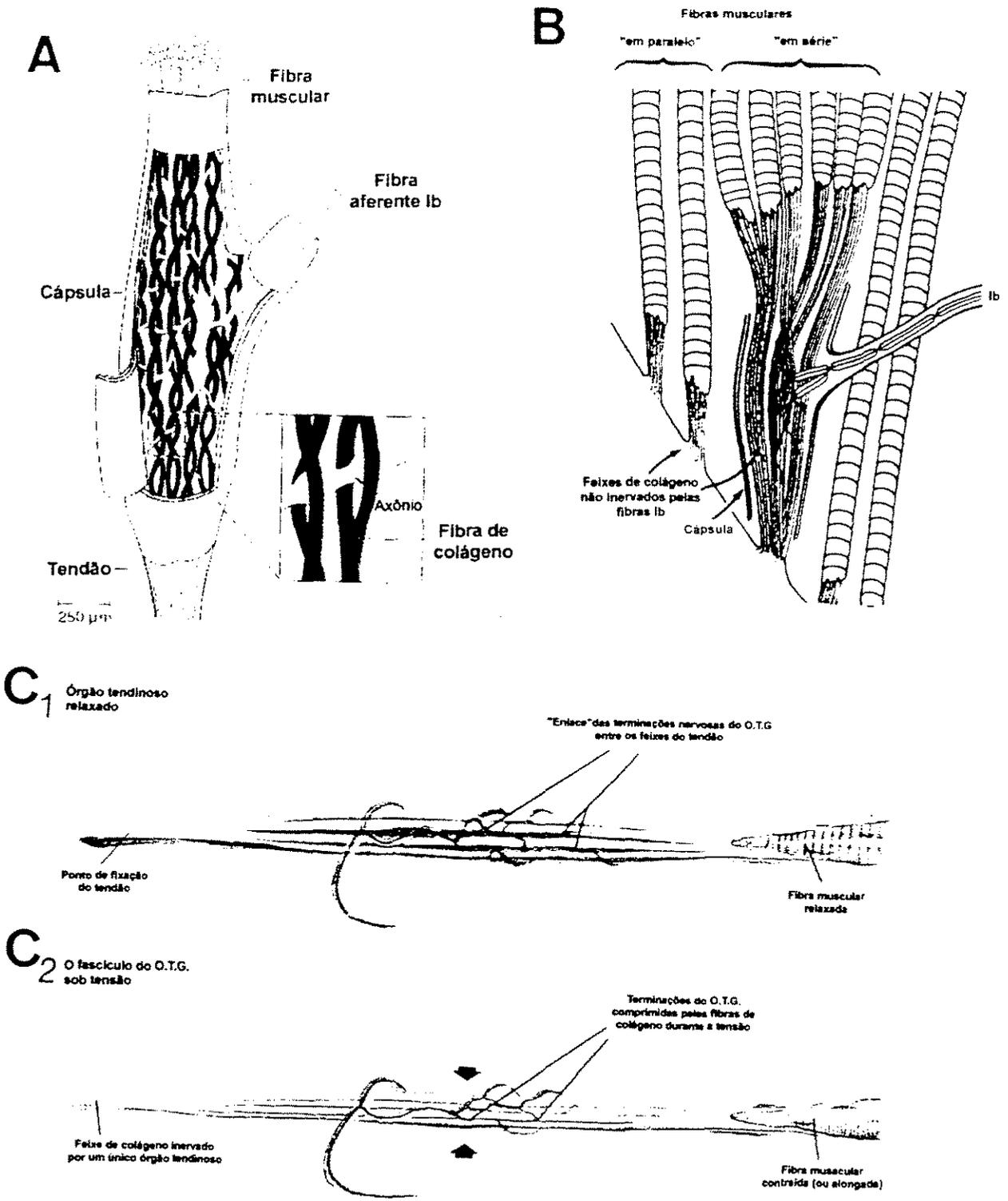


FIGURA 5.2 Desenhos esquemáticos do órgão tendinoso de golgi : **(A)** a unidade funcional do receptor (Kandel et al.,1995); **(B)** representação da típica disposição anatômica do receptor na junção miotendinosa e da ausência de sua inervação em algumas fibras musculares (Jami,1992); **(C)** demonstração da forma de estímulo – deformação mecânica - que o torna ativo (Bridgman,1968).

É importante salientar que seu mecanismo de controle da tensão muscular age juntamente com os mecanismos de controle do comprimento do músculo, mas que a tensão desenvolvida durante a contração de uma dada unidade motora, não dependerá exclusivamente da frequência de impulsos do motoneurônio alfa. Para uma frequência idêntica, a tensão também condiciona-se à velocidade de contração, ao comprimento do músculo (a tensão será menor se este for diferente do comprimento de repouso) e ao desenvolvimento da fadiga.

5.3.3 REGISTROS EXPERIMENTAIS DA ATIVIDADE DOS O.T.G.

Stephens et al. (1975) tentaram elucidar como e com que amplitude as mudanças no tamanho do músculo afetam a sensibilidade estática e dinâmica do órgão tendinoso de golgi (O.T.G.), correlacionadas às contrações de uma única unidade motora. Através do registro eletromiográfico, descreveram o comportamento dos órgãos tendinosos, durante o desenvolvimento de forças ativas em uma única unidade motora, bem como durante o alongamento muscular passivo.

Os resultados indicaram que no comportamento dos órgãos tendinosos existe uma relação nas mudanças iniciais da ativação destes receptores, com a mudança da força e amplitude de sua variação, durante a fadiga, nas contrações de uma única unidade motora. O presente trabalho sustenta a conclusão de que, apesar de muitas aferências Ib demonstrarem uma resposta às forças desenvolvidas passivamente dentro de uma faixa fisiológica normal de estiramento muscular, essa forma de estímulo é relativamente ineficiente para a excitação dos órgãos tendinosos. Este ponto de vista está embasado na análise dos dados

comparativos, das respostas das aferências Ib, frente a forças ativas e passivas, nos experimentos realizados.

O uso da relação comprimento/tensão do músculo, empregada para graduar o nível de força da contração de unidades motoras isoladas, revelou também que a sensibilidade evidente dos O.T.G. às mudanças estáticas e dinâmicas na força, depende do tamanho do músculo. Em cada comprimento, a força exercida na cápsula do receptor, durante a contração de uma única unidade motora, seria a soma da força passiva do estiramento muscular com a da força ativa desenvolvida em série com o receptor, pela contração do músculo. Deduziu-se que a sensibilidade dos O.T.G. seja dependente de quaisquer fatores que alterem a força exercida na cápsula do receptor tendinoso, incluindo-se o estiramento muscular passivo.

Stephens et al. (1975) também concluíram que, pela redução na sensibilidade estática dos O.T.G., à medida que o comprimento do músculo aumenta e pela associação com o desenvolvimento de crescentes tensões passivas, pode-se afirmar que, para cada interação entre aferência Ib/unidade motora, deve existir uma relação curvilínea entre o total de força exercida na cápsula do receptor e o potencial de ativação alcançado. Notou-se também que a elevação na sensibilidade do receptor diminuiu, progressivamente, com o aumento dos níveis de força estática.

Por sua vez, Gregory et al. (1986), utilizando experimentos com gatos anestesiados, investigaram a possibilidade de que a estimulação combinada de unidades motoras com efeitos "atenuantes"

pudesse reduzir a resposta de um receptor tendinoso, durante uma contração voluntária.

Desde as primeiras pesquisas realizadas a respeito, a visão que tem surgido na literatura é que as unidades motoras “atenuantes” podem interferir na ação direta de outras “em série”. Stuart et al., 1972 (*apud* Gregory et al., 1986), concluíram que “o receptor normalmente responde de maneira ligeiramente menos ativa”, quando as unidades são estimuladas das duas formas, ao mesmo tempo.

A interpretação de Gregory et al. (1986), baseada no modelo mecânico de um órgão tendinoso (Gregory & Proske, 1981), é que uma soma não-linear origina-se da interação entre múltiplos medidores dentro do receptor tendíneo. Esta soma não-linear pode, simplesmente, originar-se dos efeitos atenuantes, isto é, a estimulação combinada de duas ou mais unidades motoras recruta muitas fibras musculares, sem uma ação direta no receptor, podendo, portanto, pelo efeito atenuador, reduzir a faixa de ativação a valores abaixo da soma aritmética. É muito provável que a quantidade de encurtamentos internos produzindo atenuações, tenha se tornado menor por causa de uma contração mais fraca. Gregory et al. (1986) afirmaram que os órgãos tendinosos de golgi poderiam responder de uma ou duas maneiras, sugerindo que um tipo de resposta pode interferir em outra.

Esses pesquisadores concluíram, a partir dos experimentos, que fibras musculares, dispostas em paralelo com o receptor tendinoso, produzem algumas contrações internas no músculo (pelo estiramento da fixação tendinosa) gerando, conseqüentemente, tensões mais baixas nas fibras musculares diretamente tracionadas no receptor. Porém, se a

estimulação é mantida, as fibras atenuadas continuar-se-ão contraindo para encurtar a folga do tendão, para depois recuperar o seu nível original de tensão. Portanto, sobre a maioria da amplitude do comprimento muscular normalmente utilizado, essas pequenas contrações não produzirão uma manutenção mais baixa da tensão gerada das fibras, assim como, da faixa de ativação dos órgãos tendinosos.

Através das observações apresentadas concluíram também que, no músculo solear, quando a resposta aferente é produzida pelas unidades motoras que exercem tensão diretamente no receptor, a manutenção de respostas atenuadas não ocorre na maioria dos comprimentos musculares. Somente quando o músculo é encurtado suficientemente para a tensão ativa iniciar uma queda abrupta na descarga do receptor, é que se pode demonstrar a atenuação mantida.

Bossavit et al. (1989), verificaram a ativação individual dos receptores tendinosos de golgi, através de contrações tetânicas assíncronas de várias unidades motoras, dos músculos da perna do gato. Tais autores descobriram neste estudo, que grupos de dez a doze unidades motoras em série, com um único órgão tendinoso de golgi, incluem todos os tipos de comportamentos fisiológicos presentes no músculo, mostrando uma faixa variável de sensibilidade às forças contráteis. Ao contrário deste trabalho, outros estudos anteriores, pesquisando as respostas individuais dos receptores, em relação às contrações de uma única unidade motora, falharam em detectar qual é a relação entre a freqüência dos impulsos elétricos e a força, medidas no tendão dos músculos.

Esses autores acreditam que um dado órgão tendinoso pode responder com uma frequência mais alta de impulsos elétricos, a uma unidade motora lenta e fraca, do que a uma rápida e forte, e que tal resposta à contração de várias unidades em série não é uma soma linear da atividade de cada unidade individual.

Observados os dados do trabalho, Bossavit et al. (1989) concluíram que os mesmos não apontaram para uma especial eficiência das contrações assíncronas na ativação dos órgãos tendinosos, nem deram base para a suposição de que tais contrações poderiam provocar respostas dos receptores tendíneos, nas quais a frequência de descarga estaria linearmente relacionada à força muscular.

Vários parâmetros indicaram para uma relação não linear, entre a frequência de descarga do órgão tendinoso e a força da unidade motora (Proske, 1981). Alguns deles dependem do fato de uma única fibra aferente Ib poder inervar dois órgãos tendinosos; outros, do fato de um receptor tendinoso não ser unicamente ativado pelas fibras musculares em série, podendo ser influenciado pelas fibras em paralelo, cujas contrações tendem a descarregar o receptor (Bossavit et al., 1989). Possivelmente, a ativação geral de todos os órgãos tendinosos de golgi em um músculo, poderia compensar, parcialmente, a ausência de linearidade, na relação entre a descarga individual dos receptores e a força contrátil.

Bossavit et al. (1989) ponderam que a codificação da força muscular no sistema nervoso central pode também confiar na “cooperação” de informações fornecidas por outros tipos de mecanorreceptores.

Hutton & Nelson (1986) conduziram sua pesquisa com o intuito de determinar a sensibilidade dos receptores tendinosos de golgi, na fadiga muscular induzida com contrações tetânicas, por longos períodos de estimulação.

Em um outro estudo de mudanças pós-contrações de aferências musculares proprioceptivas, em resposta a estiramentos sinusoidais, foi demonstrada uma diminuição transitória nas frequências de resposta de ativação das aferências Ib. Neste trabalho, as contrações tetânicas foram de breve duração (normalmente cinco segundos ou menos) e somente umas poucas observações foram registradas nas fibras Ib (Smith et al., 1974).

Em função desses achados, Hutton & Nelson (1986) acreditam que a diminuição da ativação das aferências Ib deve complementar, reflexamente, a descarga aumentada dos fusos musculares, através da desinibição.

5.3.4 SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS O.T.G.

Esse tipo de receptor é responsável pela regulação da tensão à que se submetem as fibras musculares, durante a contração ou estiramento. Tal atividade pode ser considerada como um mecanismo de proteção, limitante do excesso de força exercido contra o tecido muscular. Sua ação ocorre por meio do REFLEXO DE ESTIRAMENTO INVERSO (ou TENDINOSO).

Como nem todas as fibras musculares são inervadas por receptores tendinosos, se uma fibra que não possui tal estrutura for

tracionada, o O.T.G. da fibra adjacente a ela aumentará sua “frouxidão” de repouso, passando a necessitar, nessas circunstâncias, de maiores níveis de tensão para ser potencialmente excitado. Além disso, sua forma de ativação apresenta maior sensibilidade às forças ativas do que às passivas.

Durante a seqüência de movimentos articulares, o reflexo tendinoso (Ib) atua em mecanismo combinatório com o reflexo de estiramento (Ia), para a eficiência da atividade muscular.

5.4 AFERÊNCIAS ARTICULARES

5.4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Um estudo anatômico comparativo da ultra-estrutura das terminações nervosas sensoriais da cápsula articular do joelho humano foi realizado por Halata et al. (1985). Os resultados da morfologia das terminações nervosas sensoriais foram consistentes com os achados de Polacek (1966), que afirmou poderem as terminações nervosas ser classificadas em três categorias: 1) terminações nervosas livres; 2) corpúsculos de ruffini (também conhecidos na literatura como terminações nervosas “em forma de ramallete”) e 3) corpúsculos de pacini ou pacinianos. Cada categoria possui uma série de variações típicas.

Segundo Halata et al.(1985), as terminações nervosas livres, na cápsula articular, estão localizadas abaixo da membrana sinovial e dentro da camada fibrosa próxima aos vasos sangüíneos. Esses terminais

derivam de fibras-A δ mielinizadas ou de fibras-C amielinizadas. e suas estruturas são quase idênticas às terminações nervosas livres na raiz do cabelo humano e na pele glabra.

Os corpúsculos de ruffini estão presentes dentro da camada fibrosa e dos ligamentos da cápsula articular, em três variações: 1) pequenos corpúsculos sem uma cápsula; 2) pequenos corpúsculos com uma cápsula de tecido conectivo e 3) grandes corpúsculos com uma cápsula perineural incompleta. Seus axônios aferentes são mielinizados e medem 3-5 μm de diâmetro. No interior dos corpúsculos, terminais nervosos estão fixados no tecido conectivo, fazendo parte da camada fibrosa e/ou dos ligamentos. A presença de uma cápsula perineural incompleta depende da estrutura em torno do tecido conectivo. Em ligamentos com fibrilas colágenas orientadas em formato paralelo, a cápsula perineural é bem desenvolvida e o corpúsculo de ruffini assemelha-se a um órgão tendinoso de golgi; em áreas onde as fibrilas não demonstram uma arranjo espacial predominante, os corpúsculos de ruffini não apresentam cápsula.

Dados de outros autores (Halata et al.,1984; Schoultz & Swett,1972,1976; Goglia & Sklenska,1969; Halata,1977; Halata & Munger,1980a *apud* Halata et al.,1985) corroboram tais conceitos.

Pequenos corpúsculos de pacini estão situados dentro da camada fibrosa, próximo à inserção capsular, no menisco ou no periósteo. Eles consistem em um ou vários círculos irregulares concêntricos e em uma cápsula perineural de uma a duas camadas. Corpúsculos de pacini maiores, também com um ou mais círculos irregulares concêntricos e uma

cápsula perineural formada por vinte a trinta camadas, são encontrados na parte mais externa da superfície da camada fibrosa. Um maior número de terminais nervosos dentro de um corpúsculo, provavelmente, resulta em maior campo de percepção na cápsula articular. A posição dos corpúsculos de pacini maiores implica que eles são estimulados através de alongamentos da cápsula articular, bem como através da ação muscular.

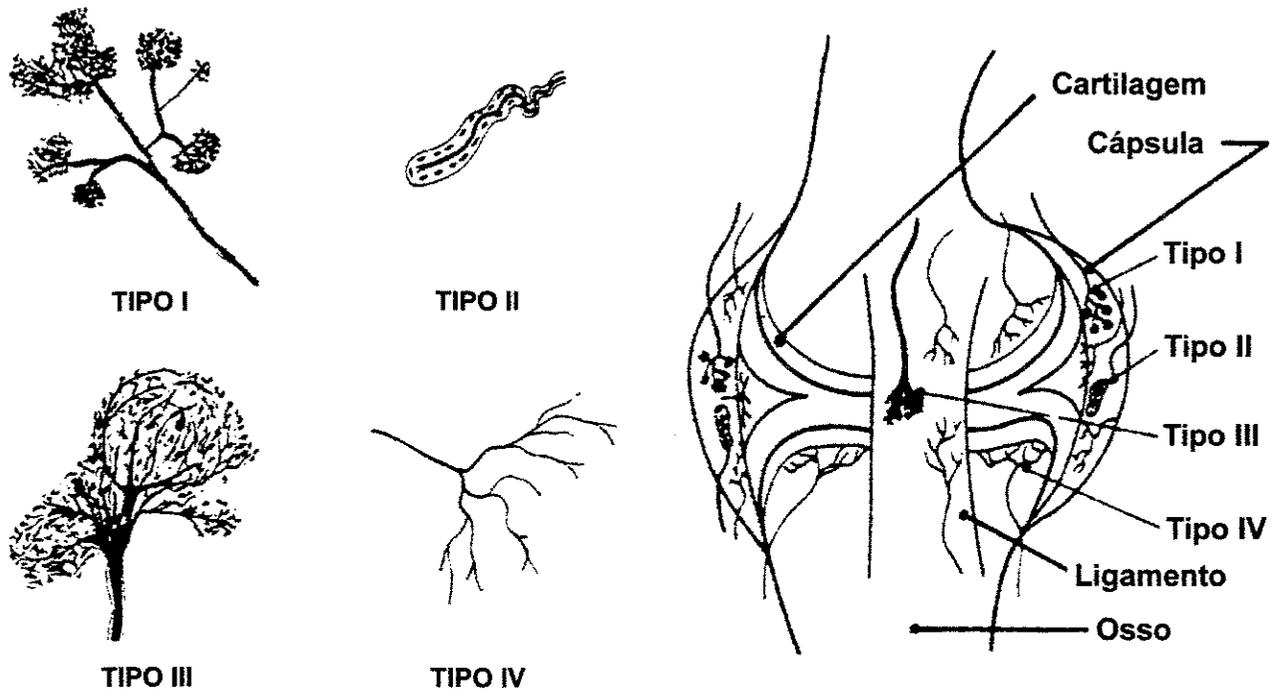


FIGURA 5.3 Tipos de terminações articulares identificados e suas respectivas distribuições no joelho humano (modificado de Brodal,1981 *apud* Lehmkuhl & Smith,1987)

5.4.2 CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

Receptores da adaptação lenta, sensíveis à aplicação de pressão, foram relatados por Clark (1975) dentro da articulação do joelho do gato.

Investigações fisiológicas têm suscitado, segundo Halata et al. (1985), que os corpúsculos de pacini se comportam semelhantemente às terminações nervosas de adaptação rápida (fásicas) e, desta maneira, refletiriam a velocidade do movimento.

Na visão de Burgess et al. (1982), os mecanorreceptores articulares têm sido considerados importantes, por muitos anos, para o fornecimento de informações sobre a posição articular; mas recentes evidências sugerem que eles não são bem designados para tal função, como originalmente se acreditava.

O joelho do gato tem sido exaustivamente estudado, demonstrando que os receptores articulares sinalizam principalmente, próximo aos limiares final e inicial da amplitude articular. Respostas similares foram encontradas no joelho de macacos (Grigg & Greenspan, 1977). Isto sugere que a atividade dos receptores articulares pode produzir sensações profundas de pressão, que são sentidas nas proximidades do fim da amplitude do movimento da articulação, mas eles não possuem uma função primária ou específica no contexto da cinestesia.

Na verdade, não existem evidências no presente, de que esses receptores em qualquer articulação, sejam importantes para a percepção consciente da posição articular. Outros atributos cinestésicos, já estudados quantitativamente por observação casual, indicam que a informação sobre a velocidade e a direção do movimento articular, é insignificamente reduzida pela perda da atividade dos receptores articulares, o que se contrapõe ao argumento de Halata et al. (1985).

Ainda que alguns desses mecanorreceptores respondam em ambos os extremos da faixa de movimento das articulações, outros sinalizam somente em um dos extremos. Eles podem também ser responsáveis pelas mudanças nas informações das constantes forças de contato do pé com o solo e também pela ação dos interneurônios nas mudanças do centro de gravidade do corpo (Burgess et al., 1982).

5.5 AFERÊNCIAS CUTÂNEAS

Em sujeitos normais, as aferências cutâneas podem modular reflexamente a descarga dos motoneurônios alfa (α) ativos durante uma contração voluntária (Aniss et al., 1988).

Existem dados, em estudos com gatos, sugerindo que essas aferências têm efeitos reflexos poderosos sobre os neurônios fusimotORES em situações controladas e reducionistas (Alnaes et al., 1965; Appelberg et al., 1977; Bessou et al., 1981; Eldred & Hagbarth, 1954; Grillner, 1969; Hunt, 1951; Davey & Ellaway, 1985; Hunt, 1958; Jansen & Rudjord, 1965; Johansson & Sojka, 1985; Prochazka, 1983; Voorhoeve & Van Kanten, 1962 *apud* Aniss et al., 1988).

Também há consideráveis evidências de que os efeitos nos motoneurônios gama (γ) têm um limiar de estimulação mais baixo, se comparados aos motoneurônios alfa (α) (Aniss et al., 1988).

Os receptores cutâneos provêm sinais relacionados aos ângulos articulares, quando a pele que recobre o mesmo lado da

articulação é estirada, ou quando a posição de uma articulação induz o contato entre duas ou mais superfícies da pele (Burgess et al.,1982).

Apesar de vários trabalhos experimentais realizados em joelhos de animais, até o momento não surgiram evidências de que os receptores cutâneos, em volta dessa articulação, tragam importantes contribuições para a informação consciente da posição articular. Tal conclusão também aplica-se, provavelmente, a outras articulações proximais aos pés e mãos (Burgess et al.,1982).

5.6 MECANISMOS REFLEXOS

As formas mais elementares de coordenação motora são consideradas reflexos (Kandel et al.,1995). Esses podem ser definidos como resposta motora estereotipada do organismo a um estímulo sensorial (Enoka,1994).

A maioria dos reflexos depende, principalmente, do estado físico do corpo (estático ou dinâmico), sendo que, em movimento, as ações reflexas manifestam-se de forma mais intensa (Enoka,1994).

Para Kandel et al. (1995), Esbérard (1991,1980) e Schmidt (1979), dá-se o nome de REFLEXO ou ATO REFLEXO às respostas observadas frente a estímulos ambientes específicos, que ocorrem independentemente de qualquer controle voluntário, encontradas em todos os animais que possuem sistema nervoso. Tais autores argumentam ainda que as respostas reflexas são consideradas mecanismos adaptativos, as

quais dependem das características fenotípicas e genotípicas e da intensidade dos estímulos geradores.

Evarts (1981) aponta que a maioria do conhecimento obtido sobre sistema proprioceptivo, tem sido alcançada pela observação de conseqüências reflexas, das mudanças produzidas externamente, do comprimento e da tensão muscular.

O circuito básico onde se manifestam os reflexos é chamado de ARCO REFLEXO. Compõe-se de um receptor sensorial que detecta o estímulo inicial, de uma via aferente que conduz este estímulo até à medula, de um segmento medular, de uma via eferente que conduz o estímulo motor até o músculo, além, é claro, do músculo que realiza o movimento. Os comandos neurais (inibidores e facilitadores), responsáveis pelos reflexos, estão totalmente contidos dentro da medula espinhal e recebem informações sensoriais diretamente dos músculos, articulações e da pele (Kandel et al.,1995) (FIGURA 5.4).

Podemos classificar os arcos reflexos, segundo o número de ligações sinápticas no nível medular em: A) MONOSSINÁPTICO, no qual existe uma única série de conexões diretas entre aferências Ia e motoneurônios alfa, sendo um exemplo típico, o reflexo de estiramento; B) POLISSINÁPTICO, no qual a ligação entre neurônios sensoriais e motores é interposta por diversos interneurônios que recebem *inputs* convergentes de mais de uma fonte. Essa característica permite que sinais advindos dos centros cerebrais superiores, bem como de outras aferências, interajam e modifiquem a expressão final do reflexo. Na ausência da intervenção supra-espinhal, os reflexos seriam automatizados e estereotipados (Kandel et al.,1995, Rothwell,1994).

A comunicação, dentro das vias aferentes de um sistema articular simples, inicia-se com a geração de um potencial, a partir de elementos sensíveis dos receptores sensoriais. Para os mecanorreceptores (fusos musculares, órgãos tendinosos, receptores articulares e cutâneos), o potencial gerador é criado pela deformação mecânica dos terminais sensoriais (via abertura dos canais de Na^+), que são locais adaptados para esse fenômeno. O potencial gerador é conduzido então ao longo do axônio aferente para a "zona gatilho" e, se a despolarização for maior do que o limiar, um potencial de ação é iniciado.

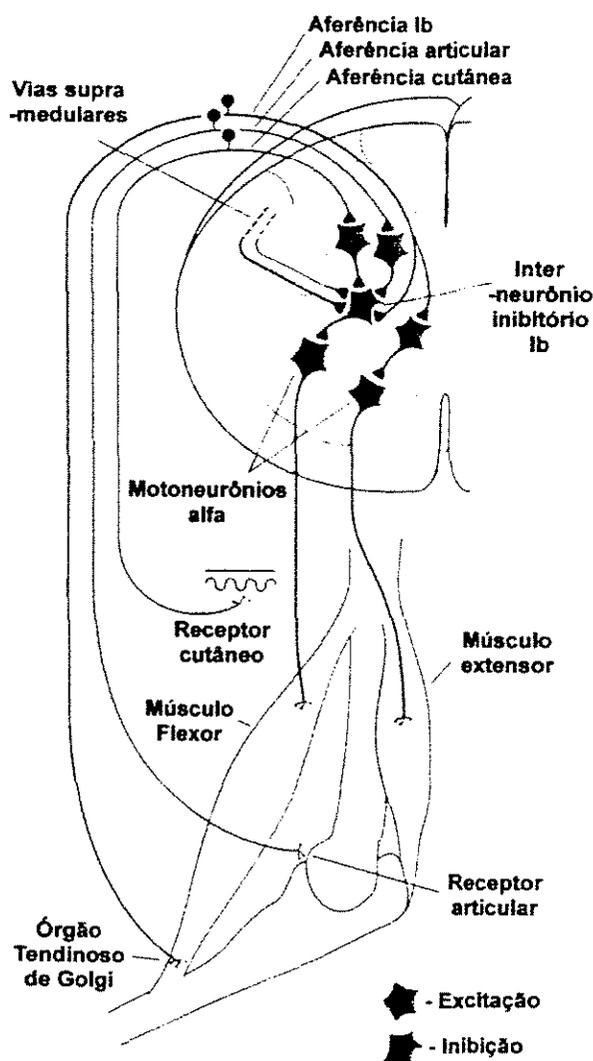


FIGURA 5.4 Esquema de um arco reflexo com estímulos de várias naturezas (Kandel et al., 1995).

Esse processo ocorre a nível da medula através dos motoneurônios alfa, que servem os mesmos músculos nos quais os receptores estão localizados (chamados motoneurônios alfa homônimos).

Como a mudança no comando dos sinais de controle desse sistema é baseada na atividade fora do circuito neural (externa), ele é denominado de *FEEDBACK* (Latash,1997).

Se um músculo é subitamente estirado, o fuso é excitado e envia um sinal através das aferências Ia e II para o motoneurônio alfa homônimo. Se o sinal for suficientemente forte, os motoneurônios gerarão potenciais de ação que resultam na ativação do músculo. Tal seqüência de eventos é chamada de REFLEXO DE ESTIRAMENTO (FIGURA 5.5a).

O reflexo de estiramento necessita de um tempo menor (latência) para processar as respostas a partir do estímulo, porque é do tipo monossináptico, ou seja, possui uma única conexão sináptica entre a identificação do estímulo aferente e o comando motor eferente (Dietz,1992).

Por sua vez, as informações que chegam aos órgãos tendinosos (aferentes Ib) produzem, entre outros efeitos, um potencial inibitório dos sítios especializados nos motoneurônios homônimos. Tais sítios diminuem a excitabilidade dos motoneurônios alfa e tendem a relaxar as fibras motoras musculoesqueléticas, que estão ligadas, em série, aos receptores tendinosos. Essa resposta diminui o estímulo de tensão no músculo que, inicialmente, ativou os órgãos tendinosos (REFLEXO TENDINOSO ou REFLEXO DE ESTIRAMENTO INVERSO) (FIGURA 5.5b).

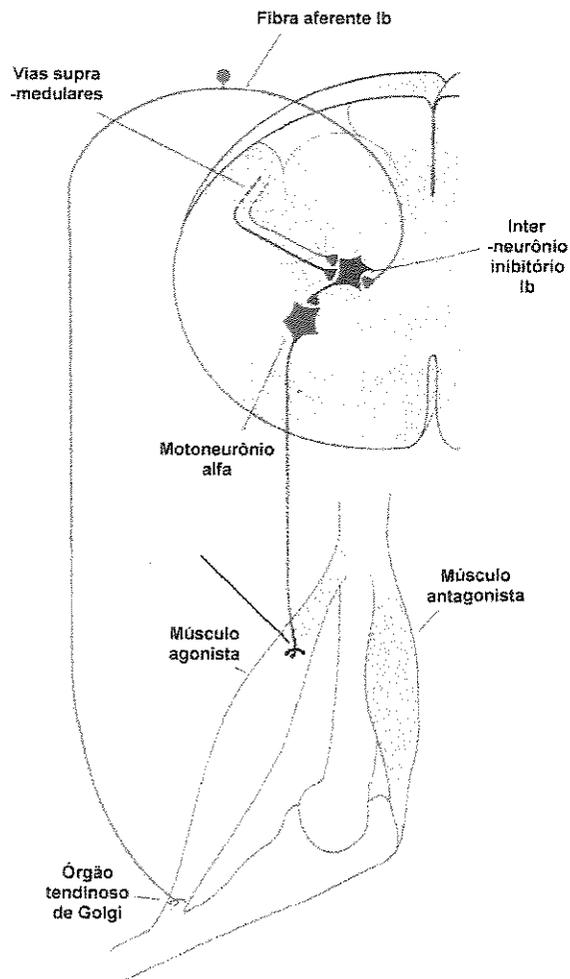
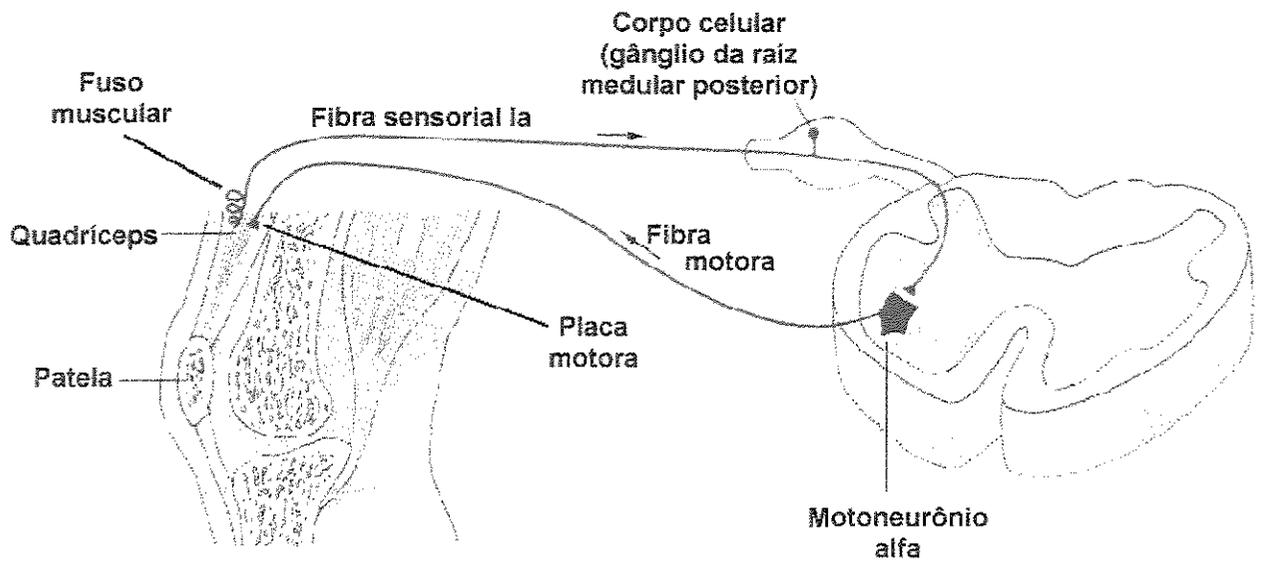


FIGURA 5.5 (A) Esquema do reflexo de estiramento; (B) Esquema do reflexo tendinoso (modificado de Kandel et al., 1995).

Além dos efeitos homônimos, já descritos anteriormente, os aferentes Ia são conhecidos por enviar uma ramificação a um interneurônio, classificado como Interneurônio Inibitório Ia. A ativação desses interneurônios resulta em um potencial inibitório do sítio especializado nos motoneurônios que servem aos músculos antagonistas.

Ao alongar (estirar) o tendão dos músculos posteriores da coxa, por exemplo, os fusos musculares são ativados e enviam informações, via suas fibras Ia, à medula espinhal, onde estas se ligam, entre outros neurônios, ao Interneurônio Inibitório Ia. Uma vez ativados, os interneurônios inibitórios Ia enviam um sinal (potencial de ação) para muitos motoneurônios alfa que inervam as fibras musculares do quadríceps.

Esse interneurônio (Ia) é assim denominado porque sua função é inibir os motoneurônios alfa, heterônimos, causando, então, o relaxamento das fibras musculares do quadríceps. Assim como na ativação homônima do músculo pelo reflexo de estiramento, a aferência Ia pode também relaxar o músculo antagonista, se prevalecerem as condições apropriadas para tanto. Essa resposta mais tardia é referida na literatura como INIBIÇÃO RECÍPROCA (FIGURA 5.6); contudo, parece estar restrita ao grupo de músculos flexo-extensores (agonistas-antagonistas) (Esbérard, 1980).

Além dos circuitos citados, existe um outro neurônio chamado CÉLULA DE RENSHAW, sobre o qual ainda pouco se sabe. Tal estrutura é um interneurônio na medula espinhal, que recebe algumas informações dos ramos colaterais dos axônios dos motoneurônios alfa. O sinal enviado pela célula Renshaw é distribuído entre vários neurônios,

incluindo o Interneurônio Inibitório Ia e o motoneurônio alfa (do qual se origina sua ramificação colateral).

O efeito atribuído à célula Renshaw é o de gerar potenciais inibitórios nos locais especializados de ambos os neurônios. Este circuito associado com os efeitos inibitórios nos motoneurônios alfa é conhecido como INIBIÇÃO REPETIDA ou PERIÓDICA ou COLATERAL. Além dessas interações neurais, há neurônios que estendem ramificações acima e abaixo da medula espinhal e, muitos deles, também recebem informações vindas de neurônios proprioespinais.

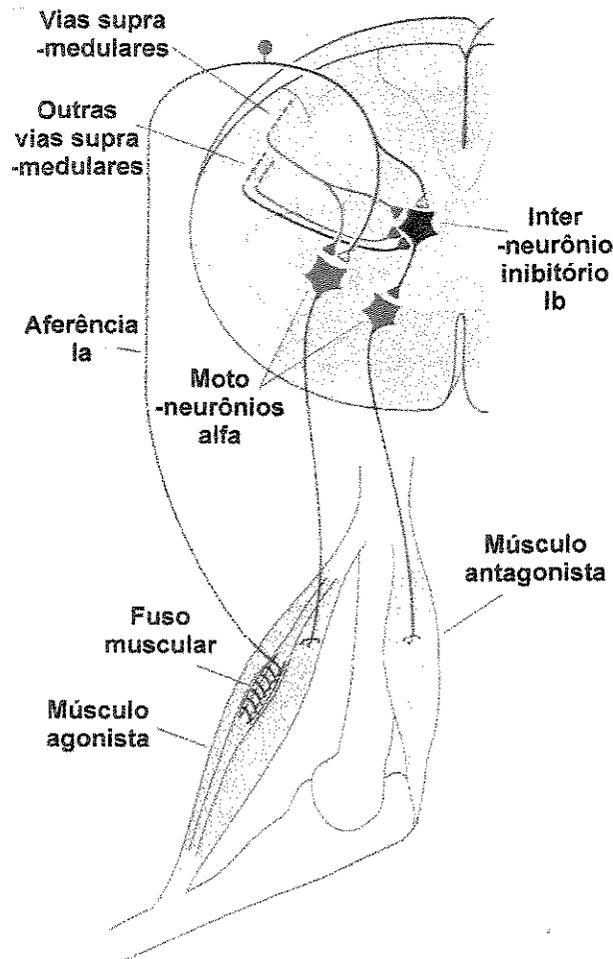


FIGURA 5.6 Esquema das conexões do reflexo de inibição recíproca (Kandel et al., 1995).

A importância dos reflexos relativos às aferências do grupo I para a postura e a locomoção é baseada no fato de que estas ações podem ser moduladas por inibições pré-sinápticas (fibras Ib) e por mudanças na sensibilidade dos fusos musculares (fibras Ia), através do sistema fusimotor. Isto significa alteração de movimentos simples com maior precisão, na superação de pequenas irregularidades geradas pelo meio externo (Dietz,1992).

Nos programas de treinamento físico, o desenvolvimento das técnicas que visam ao aumento da aptidão muscular, principalmente da força e flexibilidade, se dá através de alguns tipos de “manobras” que, por sua vez, se baseiam na estimulação desses reflexos. Contudo, os reflexos mediados pelos aferentes do grupo I representam somente uma parte dos sistemas reflexos conhecidos em experimentos com animais, durante movimentos complexos.

Muitas vezes, as aferências Ia e Ib fazem contato com uma multiplicidade de motoneurônios e interneurônios. Vários destes ramais se conectam com neurônios que transmitem informações para vias superiores e inferiores, em relação à medula espinhal, incluindo as vias cerebrais. Como consequência, as informações recebidas dos proprioceptores são distribuídas continuamente pelo sistema nervoso (Esbérard,1980). Mesmo em um único músculo, existem evidências de numerosos mecanismos reflexos originados de diferentes tipos de receptores periferais, mixados no nível dos interneurônios (Latash,1997).

Uma outra abordagem direcionada para o estudo dos mecanismos reflexos no controle da postura e da locomoção humana, que utiliza deslocamentos dos pés para frente e para trás, com a análise

concomitante da eletromiografia das respostas compensatórias, revela a existência de um outro tipo de reflexo: os POLISSINÁPTICOS. Estas perturbações evocam um padrão sinérgico de respostas em todos os músculos e articulações de ambas as pernas, que representa a ação combinada de vários interneurônios, recebendo a convergência de *inputs* advindos de mais de uma fonte aferente.

Para Kandel et al. (1995) e Dietz (1992), os reflexos polissinápticos, gerados nessas respostas eletromiográficas, são, provavelmente, moduladores das fases cíclicas de atos motores básicos, como por exemplo, a locomoção. Igualmente importante é dizer que o tempo de latência das respostas polissinápticas é maior do que das monossinápticas e que também podem sofrer influência dos comandos supramedulares.

Conseqüentemente, a relevância desse tipo de reflexo para a educação física e para o esporte revela-se na aquisição dos gestos motores, durante o aprendizado das habilidades específicas, que se tornarão automatizadas com o passar do tempo, à medida que os padrões de complexidade motora forem aumentando.

Os reflexos medulares têm um papel essencial em todas as ações voluntárias. São também importantes para diagnósticos clínicos, usados para avaliar a integridade das aferências e das conexões motoras, bem como a excitabilidade geral da medula (Kandel et al., 1995). O reflexo do tendão patelar é um exemplo clássico dessa utilidade.

Em busca da relação entre os reflexos e a regulação das ações musculares individuais, Loeb (1989) elaborou uma descrição

totalmente conceitual, de uma estrutura chamada “padrões geradores centrais” (P.G.C.), considerada responsável pelo controle do recrutamento seqüencial dos músculos durante o movimento.

O autor preconiza que importantes “circuitos neurais”, ligados à geração de diversos modos de locomoção, estão, em grande parte, confinados na medula espinhal. Segundo o mesmo autor, estudos neurofisiológicos têm revelado este fato, quando tais circuitos são identificados através da medula, utilizando técnicas eletrofisiológicas e histológicas.

Apesar de todos sinais sensoriais de *feedback* serem realmente importantes, muito do início e do tempo da ação muscular parece ser parte de uma oscilação auto-regulável de uma rede interativa de interneurônios da medula, que produziria um padrão cíclico de sinais. Mesmo em completa ausência de movimento, para iniciar o *feedback* sensorial, a medula poderia gerar seqüências de atividade motoneural, que é similar àquela registradas durante a caminhada normal (Perret, 1983, *apud* Loeb,1989). Contudo, ainda existem poucas evidências sobre a natureza desse padrão oscilatório ou da identidade dos interneurônios formadores de tal rede.

Em estudos eletromiográficos, abrangendo um largo espectro de músculos, Grillner, 1986 (*apud* Loeb,1989), notou que a amplitude e o tempo da atividade natural de cada músculo podem ser controlados individualmente. Esta evidência sugere que o P.G.C. deve ter mais do que dois estados internos, podendo ser modulado. Em virtude desses conceitos, o autor pressupôs que, durante a locomoção, as vias de *feedback* proprioceptivo, através dos interneurônios na medula espinhal,

obtêm a estabilidade desejada dos membros como um todo, considerando-se as propriedades mecânicas intrínsecas do sistema músculo-esquelético e a faixa de perturbação esperada no início do movimento inusitado.

Para Canelas et al. (1983), os realinhamentos das diferenças entre o comprimento previsto na contração e o comprimento real do músculo durante o movimento, dependem dos níveis segmentar e supra-segmentar. Aparentemente, o córtex motor, que recebe impulsos advindos dos receptores fusais, é muito mais relevante para as correções dessas diferenças do que os mecanismos segmentares.

Evarts (1981) afirmou que investigações laboratoriais sobre o sistema proprioceptivo requerem mudanças da tensão ou do comprimento do músculo, produzidas externamente, mas essas mesmas alterações externas, por sua vez, não fornecem estímulos apropriados aos receptores proprioceptivos. O mesmo autor, após considerar os resultados experimentais de Nichols & Houk (1973), quanto ao papel dos mecanismos reflexos em relação às propriedades internas do músculo, revelou que as evidências apoiaram mais notoriamente a obtenção do *feedback* da força em animais normais. Se considerarmos tal premissa verdadeira, a compensação das variações das propriedades internas do músculo deve ser maior, enquanto a compensação das variações das cargas externas, menor.

5.7 REFLEXOS PROPRIOCEPTIVOS E POSTURA

Segundo Esbérard (1991), REFLEXOS POSTURAIS são uma série de reações corretoras de natureza inata, que atuam no sentido de manter a postura do organismo, localizada por uma determinada posição no espaço e definida pela ação da gravidade.

Podem ser divididos em três tipos, basicamente: REAÇÕES ESTÁTICAS LOCAIS (de origem específica no próprio músculo); REAÇÕES ESTÁTICAS SEGMENTARES (de origem na atividade aferente, iniciada nos músculos do mesmo segmento, do lado oposto); REAÇÕES ESTÁTICAS GERAIS (originadas na atividade aferente a partir dos receptores labirínticos e dos músculos do pescoço). Todas essas reações estabelecidas por Magnus, 1924, 1925 (*apud* Esbérard, 1991) são classificadas como PROPRIOCEPTIVAS.

Já Aires (1985) propõe uma classificação baseada, também, em três tipos de reações: 1) AJUSTES ESTÁTICOS LOCAIS, que se manifestam em um setor restrito do corpo, compreendendo os reflexos miotáticos (ou de estiramento), reflexo extensor cruzado, reflexo de sustentação positiva, reflexo de sustentação negativa, reflexo de contato, reflexo de saltitamento e o reflexo de balanceio; 2) AJUSTES ESTÁTICOS GERAIS, que são correções que envolvem amplas áreas do corpo e, compreendem dois tipos fundamentais de reflexos: reflexos de endireitamento - destinados a corrigir o corpo no espaço - e reflexos estatônicos (ou de atitude) - reações posturais que mantêm diferentes partes do corpo, em atitude apropriada a cada posição da cabeça, contribuindo para a manutenção do equilíbrio geral do corpo; 3) AJUSTES ESTATOCINÉTICOS, que são reações posturais causadas reflexamente

pelo deslocamento retilíneo ou angular da cabeça. Os deslocamentos angulares estimulam os receptores cupulares (nos canais semicirculares), causando a extensão dos membros do lado para o qual gira a cabeça. Os deslocamentos retilíneos estimulam as máculas, fazendo com que, ao se deslocar a cabeça bruscamente na vertical, para um dos lados, ocorram reflexamente, movimentos de extensão dos membros (do lado oposto ao sentido desenvolvido pela mesma) e que os dedos se abram numa preparação para aterragem do corpo. É importante ressaltar que os ajustes estatocinéticos são equivalentes, mas precedem os reflexos estatônicos, pois são desencadeados durante a movimentação da cabeça. Os reflexos estatônicos persistem enquanto a cabeça está imóvel na nova posição, conseqüente ao movimento.

Os sistemas neurais, responsáveis pela manutenção da postura fundamental, são, em grande parte, conhecidos. Além dos núcleos vestibulares e da formação reticular, a organização da postura básica depende de numerosos mecanismos originados em outros sistemas, principalmente no cerebelo, nos núcleos de base e no córtex cerebral.

De acordo com Lestienne & Gurfinkel (1988), desde as primeiras pesquisas de Sherrington, o controle da postura tem sido a maneira mais tradicional para explorar a contribuição das vias sensoriais no controle motor e para investigar a adaptação do movimento corporal em ambientes modificados.

A atividade postural inclui não somente a manutenção da posição de segmentos multicorporais, mas também, os sutis ajustes posturais associados aos movimentos voluntários, a capacidade de perceber a orientação espacial de vários ângulos articulares e o controle

da estabilidade durante a locomoção. A manutenção postural pode ser realizada através da ação sinérgica do sistema neuromuscular, com base na informação integrada advinda dos sistemas vestibular, visual e proprioceptivo.

Canelas et al. (1983) acreditam que os músculos desse sistema sinérgico, que abrange principalmente os membros inferiores e o tronco, mantêm uma contração, cujas unidades motoras se revezam, em rodízio constante, conferindo à postura humana sua harmonia característica. No estudo da motricidade, os músculos foram divididos em dois grupos: extensores e flexores. Essa classificação não se baseia na ação particular de um músculo ao nível da articulação, mas sim na oposição por ele exercida à aceleração da gravidade. Os músculos antigravitacionais são chamados extensores e seus antagonistas, flexores.

Pykkö et al. (1989) tecem uma crítica em seu estudo, enfatizando a ausência de estudos que demonstrem, em detalhe, a função de diferentes músculos do corpo durante o controle da postura e a sua relativa importância durante esse processo.

Tais autores argumentam que o uso das aferências proprioceptivas na estabilização da postura pode ser observado já na infância e que seu respectivo papel no controle postural, nesse momento, parece ter uma maior importância. Durante a maturação do sistema postural, uma interação de aferências musculares com outras modalidades sensoriais, estabelece a base de estratégia usada para a estabilização corporal em várias condições ambientais.

Em outro estudo, Pyykkö et al. (1988) demonstraram que a atividade neuromuscular do gastrocnêmio, modificada por vibração, aumentou a instabilidade postural de sujeitos normais cerca de 30 a 50%. Sugeriram então que as condições experimentais, idênticas às da pesquisa citada anteriormente, deveriam evidenciar ajustes dos diferentes músculos com a aplicação de vibração.

Ao final, concluíram que as respostas posturais, nos músculos, estão sob um constante processamento dinâmico, no qual, a magnitude de resposta e o direcionamento desta podem ser adaptados em uma simultânea “estratégia muscular sinérgica”. Esta estratégia foi observada através da atividade mais intensa, em ordem decrescente, dos seguintes músculos: 1º) pescoço; 2º) tríceps sural; 3º) glúteo; 4º) reto abdominal; 5º) bíceps femoral; 6º) quadríceps; 7º) eretor espinhal e 8º) tibial anterior.

Embora ajustes posturais, envolvendo tronco, quadris e joelhos, produzam mudanças no perfil da força aplicada, pessoas normais, colocadas em pé, sem nenhum apoio e com os pés separados, adotam uma “estratégia” na qual oscilações espontâneas ou induzidas ocorrem predominantemente sobre as articulações dos tornozelos (Aniss et al, 1990).

Oscilações no tornozelo podem alterar o *feedback* proprioceptivo em dois “sítios periféricos”: nos pés e nos músculos alongados ou encurtados, pela flexão ou extensão dessa articulação. Os *inputs* das aferências proprioceptivas da sola dos pés, dos músculos intrínsecos dos pés e da articulação do tornozelo, parecem ter pouca

influência direta na estabilidade postural. Contudo, mecanorreceptores na pele e nos músculos do pé podem influenciar a estabilidade postural indiretamente, afetando reflexamente a atividade dos motoneurônios que inervam o músculo tríceps sural e os pré-tibiais (Aniss et al,1990).

No âmbito dos esportes, podemos conjecturar que a sensibilidade dessas aferências pode ser utilizada, com o intuito de potencializar as respostas que exigem uma grande mobilização muscular, dos membros inferiores e superiores, no início ou durante o gesto desportivo.

Para que as respostas compensatórias sejam geradas frente a perturbações de equilíbrio postural, o *input* proprioceptivo muscular é incorporado em um comando central mais complexo (supra-segmentar), programado para esse fim (Horstmann & Dietz,1990).

5.8 CINESTESIA

Burgess et al. (1982) realizaram um estudo sobre a sinalização das informações cinestésicas pelos receptores sensoriais periféricos, utilizando uma estratégia de revisão de vários estudos experimentais pertinentes à área. Os autores conceberam que, na ausência das vias visuais, a informação do ângulo articular torna-se consciente através de uma imagem mental de nosso corpo (imagem corporal).

A imagem corporal indica que algumas informações sensoriais são fornecidas a partir de uma determinada articulação: o

conhecimento dos ângulos articulares, quando em movimento e estáticos, e a percepção da direção angular e da velocidade das mudanças destes ângulos. Esses três tipos de informação, podem variar independentemente (isto é, cada posição pode ser alcançada através de movimentos em duas ou mais direções, que podem ocorrer em diferentes velocidades), tanto que cada qual é considerado um diferente atributo da sensibilidade cinestésica.

Ainda de acordo com Burgess et al. (1982), o termo cinestesia refere-se unicamente, às sensações associadas com o movimento articular. Apesar de não ser um termo genérico para as sensações nas situações descritas, com e sem movimento articular, utilizaram, mesmo assim, esta denominação para englobar ambas.

Os autores acima consideram que a intensidade sensorial de um estímulo é proporcional à capacidade de atrair a atenção do indivíduo e que, no contexto da cinestesia, a denominação refere-se ao estímulo que afeta a imagem corporal. A intensidade cinestésica é menor quando a articulação se encontra estática do que em movimento e aumenta à medida que o ritmo do movimento também cresce. Se o ritmo é mantido constante, pequenas mudanças são percebidas na intensidade cinestésica, como quando a articulação é movida passivamente além de sua amplitude.

A percepção da imagem corporal aumenta, quando estímulos não relacionados aos ângulos articulares são aplicados na pele e em tecidos mais profundos. Um exemplo clássico disto configura-se, quando as extremidades de dois dedos tocam uma superfície e existe um imediato aumento na clareza com que a relativa posição dos dois dedos é percebida. Como as aferências cutâneas das extremidades dos dedos não

contêm informações sobre a posição destes, os *inputs* devem facilitar o sinal de outros receptores, capazes de medir os ângulos articulares (Burgess et al., 1982).

Tal interação facilitadora é concebível pois, parte da informação disponível a respeito dos estímulos cutâneos ou subcutâneos é localizada, e isto é avaliado em termos de imagem corporal.

Os *inputs* não relacionados aos ângulos que contribuem continuamente para a imagem corporal, sem conseguir mudá-la, podem ser denominados como “secundários” ou “facilitadores” em relação ao seu papel na cinestesia. Já, aqueles receptores que mudam seus potenciais de ativação como uma função do ângulo articular, têm um papel “primário” ou “específico”, desde que eles possam produzir uma alteração apropriada na imagem corporal durante as modificações angulares. Se esses receptores forem tônicos, podem também fornecer sinais contínuos que especificam a posição da articulação na ausência de movimento.

Uma questão fundamental em cinestesia refere-se à natureza do código usado pelos receptores periféricos, na sinalização da posição articular. O “código de localização” é aquele, no qual os receptores individuais estão espacialmente sintonizados, pois, cada um deles sinaliza somente sobre uma porção limitada da amplitude de movimento. O ângulo é depois especificado, justamente pelos receptores que estão ativos, em cada faixa (Burgess et al., 1982).

Resultados dos experimentos desses pesquisadores indicam que, embora alguns códigos de localização sejam possíveis (como um músculo submetido à tensão), sobre a maioria da amplitude muscular

sinalizada, a posição da articulação é codificada durante o aumento do comprimento, por uma elevação na descarga das fibras que estavam, anteriormente, ativas. Durante uma forte contração isométrica, a possibilidade de recrutamento dos receptores fusais, em diferentes posições e comprimentos musculares, deveria ser sempre mais limitada, porque a maioria dos fusos teria sido colocado em atividade pela ação fusimotora. Assim, a posição articular parece ser sinalizada pelo nível de atividade de duas populações de fibras aferentes, advindas de um músculo ou grupo muscular antagonista. Isto pode ser denominado de "código de frequência oposta".

Na cinestesia, a movimentação de um segmento corporal de um ponto ao outro, não está associada a qualquer mudança óbvia na intensidade percebida.

Um outro aspecto abordado por Burgess et al. (1982) sobre a informação consciente da posição articular, é se o código de frequência na periferia seria convertido em um código de localização, dentro do sistema nervoso central. De modo geral, imagina-se que as sensações espaciais usam códigos de localização centralizados, isto é, quando há mudança perceptível no local de uma parte corporal, devido a uma alteração no ângulo articular, pode existir associação com uma "onda" ou "padrão" de atividade que alcança diretamente o cérebro. A interpretação quase literal disso é que os receptores fusais "impulsionam" a representação somatotópica central da pele e dos tecidos mais profundos, através do espaço cerebral.

6. DISCUSSÃO

A abordagem deste capítulo almeja discutir os princípios de algumas intervenções práticas de aprimoramento da aptidão muscular, que estão presentes no universo de atuação do professor de educação física e de outras áreas ligadas à saúde, correlacionando-os com os mecanismos da propriocepção humana.

Buscamos uma fundamentação teórica, que auxilie na discriminação das técnicas que melhor se adaptam aos objetivos e às condições específicas do esporte, dança, ergonomia e atividades físicas voltadas para deficiência, terceira idade e grupos de indivíduos sedentários.

Após estabelecermos e detalharmos os fenômenos inerentes à ação e função do sistema proprioceptivo, evidenciados no movimento e na postura, passaremos à vinculação dessas informações com as metodologias de desenvolvimento das capacidades FORÇA e FLEXIBILIDADE, em diferentes contextos de aplicação.

Apesar da atividade física regular promover inúmeros benefícios ao homem, é necessário que nos programas de exercícios, sejam utilizadas técnicas adequadas ao aumento das qualidades físicas pretendidas, para que eles sejam efetivos nos distintos grupos populacionais, aos quais se destinam. Tal adequação implica em submeter o organismo a estímulos físicos que, consigam gerar as respostas mais otimizadas dele, com vistas ao aumento das capacidades em questão.

A eficácia do treinamento físico depende, também, de fatores humanos individuais de caráter biológico (Mesure & Crémieux,1992; Blair et al.,1994) e de variáveis intrínsecas do treinamento (Morrissette et al.,1995).

Na prática, podemos notar que o treinamento da força e da flexibilidade têm sido amplamente empregados, em campos de atuação diferenciados, demonstrando uma utilidade abrangente. Corroborando esta idéia, vários autores relatam a importância da inclusão de exercícios dessa natureza para a manutenção da aptidão física (Fox & Mathews,1988; Hamill,1995; Blair et al.,1994; Hollmann,1978; Esnault & al.,1986; Manno & Nicolini,1987; Mellerowicz & Meller,1987; Alter,1988; Sharkey,1990), para o desenvolvimento da condição desportiva (Tubino,1980; Hollmann & Hettinger,1983; Esnault & al.,1986; Manno & Nicolini, 1987; Alter,1988; Bompa,1990; Hamill,1995), para as terapias de reabilitação, e para a profilaxia física (Knott & Voss,1968; Manno & Nicolini,1987; Hamill,1995; Alter,1988).

Através da observação empírica *in loco*, percebemos que, muitas vezes, as técnicas voltadas para a melhoria dessas capacidades físicas carecem de um melhor embasamento científico, quanto à contextualização e aplicação.

A partir desse exame, identificamos algumas dúvidas que permeiam o desenvolvimento prático de tais técnicas. Dentre essas, a que parece gerar maior controvérsia, questiona se o treinamento da força prejudica o desenvolvimento da flexibilidade, ou vice-versa, se ambas forem trabalhadas simultaneamente, em um mesmo programa de exercícios.

Alter (1988) discute essas idéias, ao mencionar os trabalhos de vários investigadores (Wilmore et al., 1978; Wickstrom, 1963; Massey & Chaudet, 1956; Leighton, 1956), os quais demonstraram que o treinamento da força não diminui a flexibilidade dos indivíduos e em alguns casos, até pode melhorá-la.

Iashvili (1983), também citado por Alter (1988), verificou que os valores dos coeficientes de correlação entre alongamentos ativos e passivos e o nível de flexibilidade, elevaram-se de 0.61/ 0.73 para 0.91, quando foram utilizados exercícios de força combinados aos alongamentos.

Outras dúvidas, de caráter mais específico, dizem respeito à eficiência dos procedimentos empregados, como por exemplo, qual a intensidade e o tempo (duração) necessários em cada estimulação do alongamento, para gerar as respostas fisiológicas que obtenham a maior adaptação da unidade músculo-tendão, em termos de flexibilidade?

O uso do alongamento, durante um treinamento de ginástica olímpica e uma sessão de reabilitação, pode revelar diferenças significativas. Na primeira situação, observamos com freqüência, a solicitação de 100% da amplitude articular, durante vários minutos de vigorosa tensão muscular, enquanto na segunda, geralmente, utiliza-se pequenas amplitudes e poucos segundos de cada vez. Será que os diferentes estímulos proporcionam a adaptação mais otimizada, nas respectivas situações? Quais seriam os limites máximo e mínimo recomendáveis em cada caso? Esse panorama nos impele à apreciação mais detalhada, dos mecanismos que determinam as adaptações no treinamento da força e da flexibilidade.

6.1 O TREINAMENTO DA FORÇA

6.1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O conceito de força pode ser definido como tensão máxima voluntária, gerada por um músculo ou grupo muscular, contra uma determinada resistência (Tubino,1980; Hollmann & Hettinger,1983; Fox & Mathews,1988; Sharkey,1990; Bompa,1990).

O processo que gera a força muscular caracteriza-se pelo recrutamento de grupos de unidades motoras, cuja ativação promove a contração dos músculos. Em parte, essa atividade neural decorre de deformações mecânicas nos tecidos miotendinosos - sinalizadas pelos proprioceptores - com o objetivo de executar pequenas correções no controle do movimento (FIGURA 6.1). Por outro lado, também pode haver participação do tronco encefálico em mecanismos voluntários da força (Hollmann & Hettinger,1983; Burke,1986).

Para Hamill (1995) e Burke (1986), as atividades neurais são consideradas fatores primários de controle dessa qualidade física, isto é, alguns mecanismos reflexos possuem um papel determinante na adaptabilidade do tecido muscular, em situações de solicitação funcional.

A produção de força em movimentos complexos requer a contração de músculos ou grupos musculares, de várias articulações. A magnitude dessa força varia em função da extensão, na qual agonistas e sinergistas podem ser ativados pelo sistema nervoso e pela capacidade de coordenar a ativação de todos os músculos envolvidos no movimento (Sleivert et al.,1995).

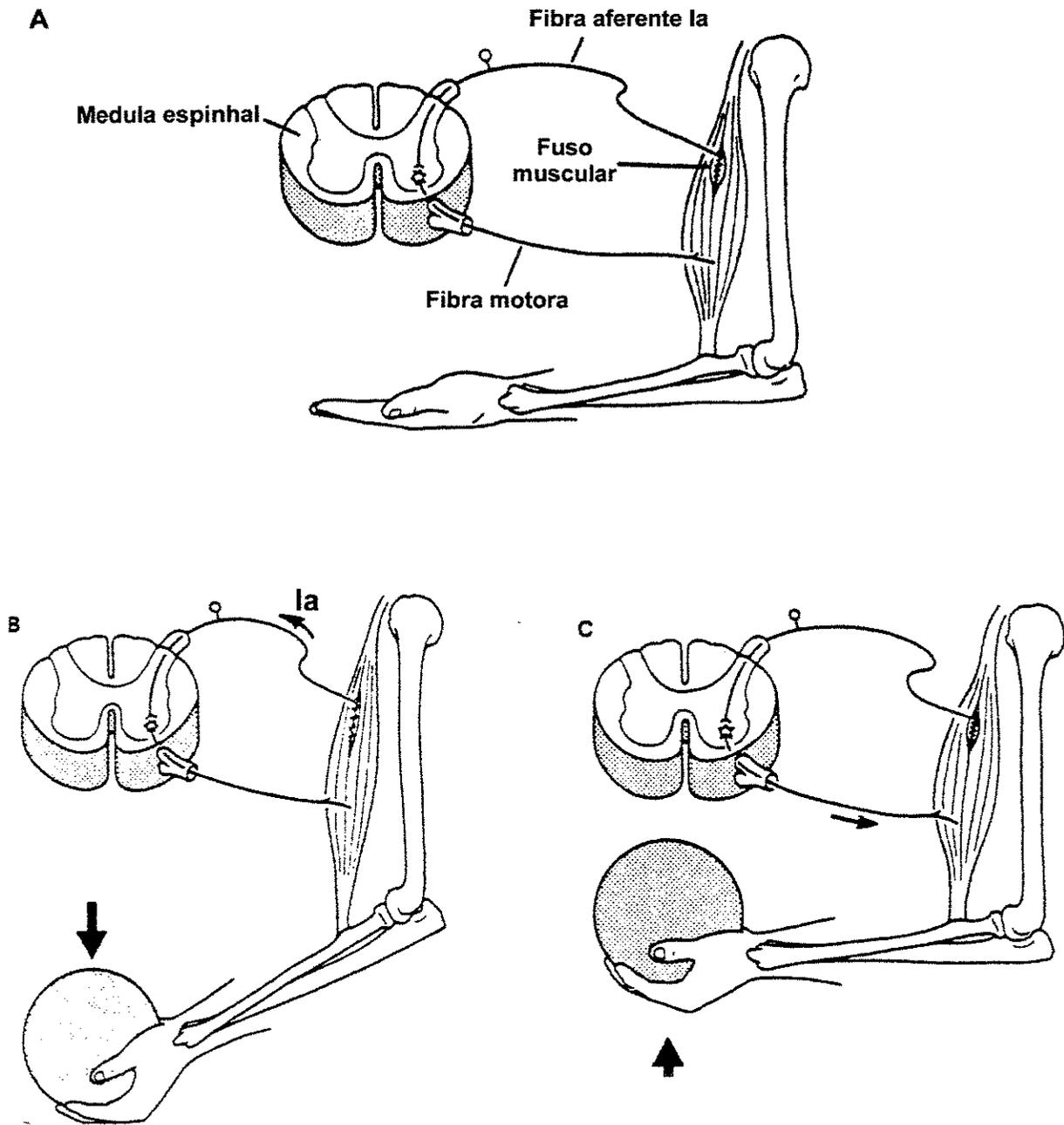


FIGURA 6.1 Mecanismos reflexos de controle da força muscular : **(A)** em movimentos rotineiros o músculo regula seu tamanho e tensão; **(B)** ao adicionar uma sobrecarga externa, o músculo aumenta seu comprimento e, conseqüentemente, a excitação dos fusos; **(C)** por sua vez, o neurônio motor alfa, na medula, provoca uma contração muscular para reequilibrar o sistema (modificado de McCardley, 1992 & Lemhkunl, 1987).

A contração muscular, decorrente dos processos descritos anteriormente, pode ser classificada em: CONCÊNTRICA (ou POSITIVA), na qual ocorre o encurtamento do músculo enquanto ele próprio gera tensão em suas fibras; e EXCÊNTRICA (ou NEGATIVA), na qual o comprimento muscular aumenta de tamanho durante a tensão produzida (Hollmann & Hettinger,1983; Fox & Mathews,1988; Blair et al.,1994).

Baseada na manifestação de suas diferentes magnitudes, esta capacidade pode ser classificada funcionalmente como (Tubino,1980; Hollmann & Hettinger,1983; Sharkey,1990; Fox & Mathews,1988; Blair et al,1994) :

↳ FORÇA DINÂMICA - produção do trabalho muscular mais intenso possível, que gera movimento (em velocidade que varia de baixa a média).

↳ FORÇA EXPLOSIVA (ou POTÊNCIA) - realização da maior intensidade de trabalho muscular no menor tempo possível, que gera movimento (em alta velocidade).

↳ FORÇA ESTÁTICA (ou ISOMÉTRICA) - máxima produção de trabalho muscular sem a geração de movimento.

No recrutamento e controle da força, a tensão máxima voluntária pode ser alcançada, também, com o trabalho excêntrico do músculo, devido à resposta do REFLEXO DE ESTIRAMENTO (ou REFLEXO MIOTÁTICO) desencadeada pelos fusos neuromusculares, face a um estiramento de suas fibras (Hollmann & Hettinger,1983). Tanto os neurônios motores (eferentes) ALFA quanto os GAMA podem modular este arco reflexo, dependendo da natureza do estímulo (voluntário ou não).

Aos órgãos tendinosos de golgi é creditado uma função protetora, por evitar o excesso de tensão que pode ser danoso, através do REFLEXO DE INIBIÇÃO AUTÓGENA (ou REFLEXO DE ESTIRAMENTO INVERSO), o qual inibe a contração muscular. Mas, parece que os receptores tendíneos, conjuntamente com os fusos, também exercem um perfeito papel no controle global do músculo durante a contração e, conseqüentemente, acabam influenciando o movimento corporal (Radcliffe & Farentinos,1985).

Komi (1986) e Gregor & Abelew (1994) acreditam que é preciso um maior conhecimento a respeito do papel do sistema nervoso na potencialização do desempenho da força muscular. Os autores citam que a compreensão mais clara das ações inibitórias e excitatórias do REFLEXO DE ESTIRAMENTO, por exemplo, é fundamental para o desenvolvimento de atividades relacionadas ao movimento humano.

O aumento dos níveis de força muscular pode ser produzido por adaptações neurais e musculoesqueléticas, através de treinamento regular e adequado, com sobrecargas funcionais de trabalho (Sleivert et al.,1995; Hamill,1995).

As mudanças neurais podem ser entendidas como possíveis expressões da plasticidade do sistema nervoso, que permitem o aumento da performance da força (Sale,1986). Estes efeitos específicos incluem aumento da freqüência de descarga dos neurônios motores, recrutamento de maior número de unidades motoras, melhoria no desempenho motor, redução das inibições reflexas (Blair et al,1994; Hamill,1995), aumento na velocidade de condução dos impulsos nervosos (Sleivert et al.,1995) e modificação dos padrões de *input* neural no músculo (Hamill,1995).

Ao verificar as modificações morfológicas ocorridas no músculo esquelético humano, após treinamento e imobilização, MacDougall (1986) concluiu que a baixa correlação entre o aumento médio na área seccional das fibras musculares e o aumento na força com o treinamento, revela a importância das adaptações internas relativas ao sistema neural, na expressão da força máxima voluntária. Esta idéia é corroborada no trabalho de Hamill (1995).

As metodologias de desenvolvimento desta qualidade física mais citadas na literatura (Tubino,1980; Hollmann & Hettinger,1983; Fox & Mathews,1988; Graves et al.,1989; Sharkey,1990; Blair et al.,1994; Kovaleski et al.,1995; O'Hagan et al.,1995; Morrissey et al.,1995; Mayhew et al.,1995; Sleivert et al.,1995; Hortobágyi et al.,1996; Higbie et al.,1996) são:

↳ TREINAMENTO DINÂMICO ou ISOTÔNICO – modo de trabalho muscular, composto por movimentos concêntricos e/ou excêntricos, consecutivos e ritmados, visando a superação de cargas constantes.

↳ TREINAMENTO ESTÁTICO ou ISOMÉTRICO – modo de trabalho muscular, que promove tensão contra uma resistência específica, sem alterar o comprimento do músculo, isto é, com ausência de movimento.

↳ TREINAMENTO ISOCINÉTICO – modo de trabalho muscular, aplicado através de um equipamento eletrônico (ou hidráulico), que estabelece o nível desejado de velocidade em relação à modificação da amplitude articular (entre 24 e 180° por segundo) e a mantém constante, permitindo a aplicação do esforço em inércia dinâmica, nas fases de contração. Também é possível modular a resistência imposta durante o movimento.

A eficiência dos métodos descritos vincula-se à consideração de algumas variáveis:

1) DURAÇÃO DOS ESTÍMULOS - É traduzida no treinamento muscular como a quantidade de repetições e séries. Por série entendemos o desempenho de um determinado número de repetições consecutivas, o qual é realizado diversas vezes em uma sessão de exercícios, intercalado com períodos de recuperação, antes da execução de um estímulo subsequente (Leighton, 1983). Braith et al. (1993) concluíram que de 7 a 10 repetições executadas até a exaustão, há uma precisa estimativa da força máxima dos músculos extensores do joelho. Similarmente, o treinamento preconizado por Roodney et al. (1994) incluiu 6 a 10 repetições para os flexores do cotovelo, com o mesmo intuito. Bompa (1990) cita o uso de 1 a 10 movimentos, observando-se a proporcionalidade inversa destes números, na determinação da quantidade das cargas; enquanto Blair et al. (1994) recomendam 5 a 10 repetições. Quanto às séries, 3 a 5 parece ser um número consensual (Leighton, 198 ; Hollmann & Hettinger,1983; Fox & Mathews,1988; Blair et al.,1994), sendo que Bompa (1990) admite o uso de até 8, dependendo da circunstância específica do treinamento.

2) INTENSIDADE DOS ESTÍMULOS - Já foi demonstrado cientificamente, que o princípio da sobrecarga é um estímulo físico que permite o desenvolvimento progressivo da força, através do aumento periódico das "cargas de trabalho" (Fox & Mathews,1988). Os ganhos de força e de volume muscular são diretamente proporcionais à magnitude da sobrecarga funcional. Os dados de estudos recentes dão suporte à premissa, de que a maximização desta capacidade pode ser atingida com qualquer método, desde que os níveis de esforço excedam um limiar

crítico (Hortobágyi et al.,1996). Por outro lado, experimentos que têm investigado os efeitos de fatores que influenciam a intensidade das respostas no treinamento da força, indicam que o aumento dos níveis desta capacidade é maior quando os indivíduos submetem-se à grandes esforços, mas, com cargas submáximas (Rooney et al.,1994; Guedes & Guedes,1995). A dificuldade (ou peso) utilizada para cada série deve ser a que proporcione uma resistência, suficiente para promover fadiga muscular, próximo às últimas repetições (Blair et al.,1994).

3) FREQUÊNCIA DOS ESTÍMULOS - Corresponde ao número de sessões de treinamento aplicadas semanalmente. A abordagem dos autores sugere 2 a 5 vezes (Hollmann & Hettinger,1983; Mellerowicz & Meller,1987; Fox & Mathews,1988; Sharkey,1990; Blair et al.,1994; Guedes & Guedes,1995).

4) INTERVALO ENTRE OS ESTÍMULOS - Em linhas gerais, o tempo de descanso é progressivamente reduzido à medida que o indivíduo adapta-se ao treinamento. Contudo, o intervalo deve aumentar quando as sobrecargas se elevam, ficando entre 2 e 10 minutos (Bompa,1990). Diferenciadamente, os dados do trabalho de Rooney et al. (1994) indicaram que um programa de treinamento de curto prazo, aplicado em homens sedentários, foi mais efetivo no grupo que não se submeteu ao descanso, do que naquele que utilizou a recuperação, em intervalos de 30 segundos entre as séries. Isso sugeriu que os processos associados à fadiga contribuem para o estímulo, pelo qual o treinamento induz o aumento da força.

5) TIPOS DE CONTRAÇÕES - A magnitude dos estímulos neurais, mecânicos e metabólicos varia de acordo com o tipo de contração

muscular (Sale,1986; Morrissey et al.,1995; Hortobágyi et al.,1996). O músculo esquelético é capaz de gerar maiores níveis de tensão durante as contrações excêntricas, do que durante as contrações concêntricas ou isométricas (Mayhew et al.,1995). Em quase todas atividades, são empregadas, consecutivamente, ações musculares concêntricas e excêntricas, o que sugere a prescrição de ambas na maioria das situações de treinamento (Higbie et al.,1996).

6) ESPECIFICIDADE - Sleivert et al. (1995) argumentam que o aumento da força, devido a treinamentos que empregam um modo particular de contração, depende da reprodutibilidade da ação nas atividades desempenhadas. Os dados experimentais deste trabalho demonstram que, a melhoria na força dinâmica e/ou explosiva, causada pelo treinamento isotônico, não é transferida para o desempenho de movimentos isométricos ou isocinéticos. Bompa (1990) também afirma que a geração de maiores níveis de força modifica-se, de acordo com o ângulo articular solicitado. Por sua vez, Hamill (1995) acredita que deve ser observada a forma de utilização dos membros no treinamento – unilateral ou bilateral – de acordo com o desempenho da atividade esportiva pretendida

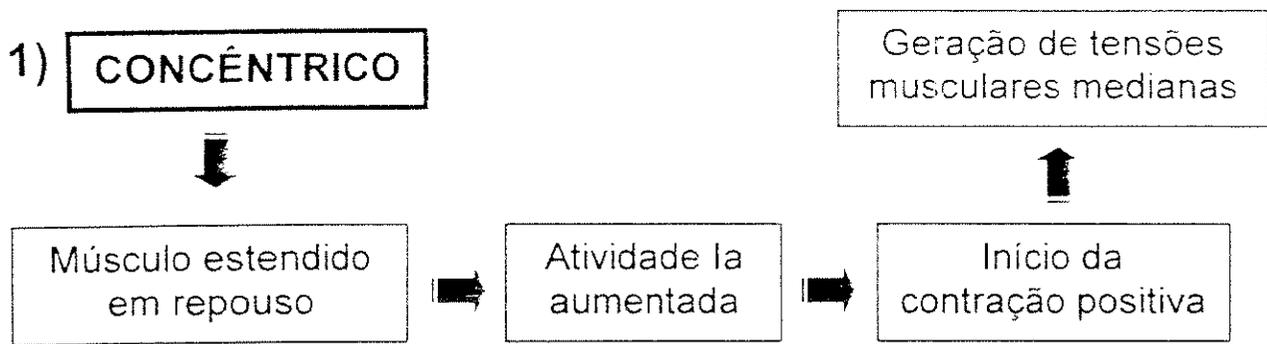
As respostas adaptativas do músculo ao treinamento da força dependem, também, de fatores endógenos como sexo, idade, tipos de fibras e da massa muscular dos agonistas e sinergistas envolvidos na ação (Hollmann & Hettinger,1983; Sale,1986; Sharkey,1990; Hamill,1995; Castro et al.,1995; Sleivert et al.,1995).

6.1.2 ANÁLISE RELACIONAL ENTRE AS ESTRATÉGIAS PARA DESENVOLVIMENTO DA FORÇA E OS CIRCUITOS NEURAI PROPRIOCEPTIVOS

Nesse tópico, propomos uma análise teórica esquemática que considera as possíveis respostas dos mecanorreceptores neurais, no decorrer da atividade muscular, manifestada nos diferentes regimes de força mencionados. Para fins didáticos, tomamos como referência os movimentos realizados pela articulação do cotovelo, com uma sobrecarga sustentada na mão (FIGURA 6.1).

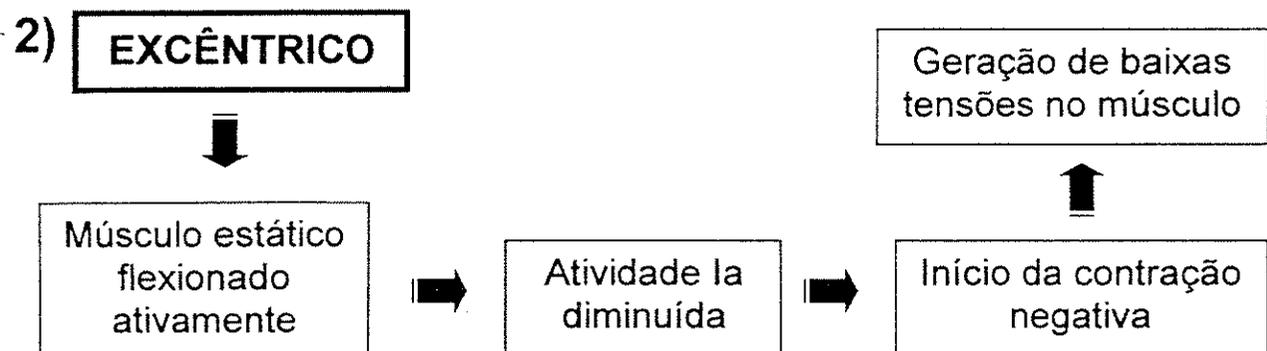
↳ **TRABALHO ISOTÔNICO** – Essa forma de solicitação pode provocar uma atividade muscular diferenciada, dependendo do estado inicial do músculo (estático ou dinâmico), do tipo de movimento envolvido (concêntrico; excêntrico; concêntrico-excêntrico ou excêntrico-concêntrico) e da velocidade utilizada para tal.

No movimento concêntrico, o músculo inicia a contração a partir do estado inercial estático, com suas fibras completamente estiradas. Tal comprimento estimula a atividade Ia, contudo, como a velocidade inicial do movimento é igual a zero, não há aumento do impulso fusar. Assim sendo, a tensão muscular, gerada exclusivamente por este tipo de contração, não é máxima (QUADRO 6.1).



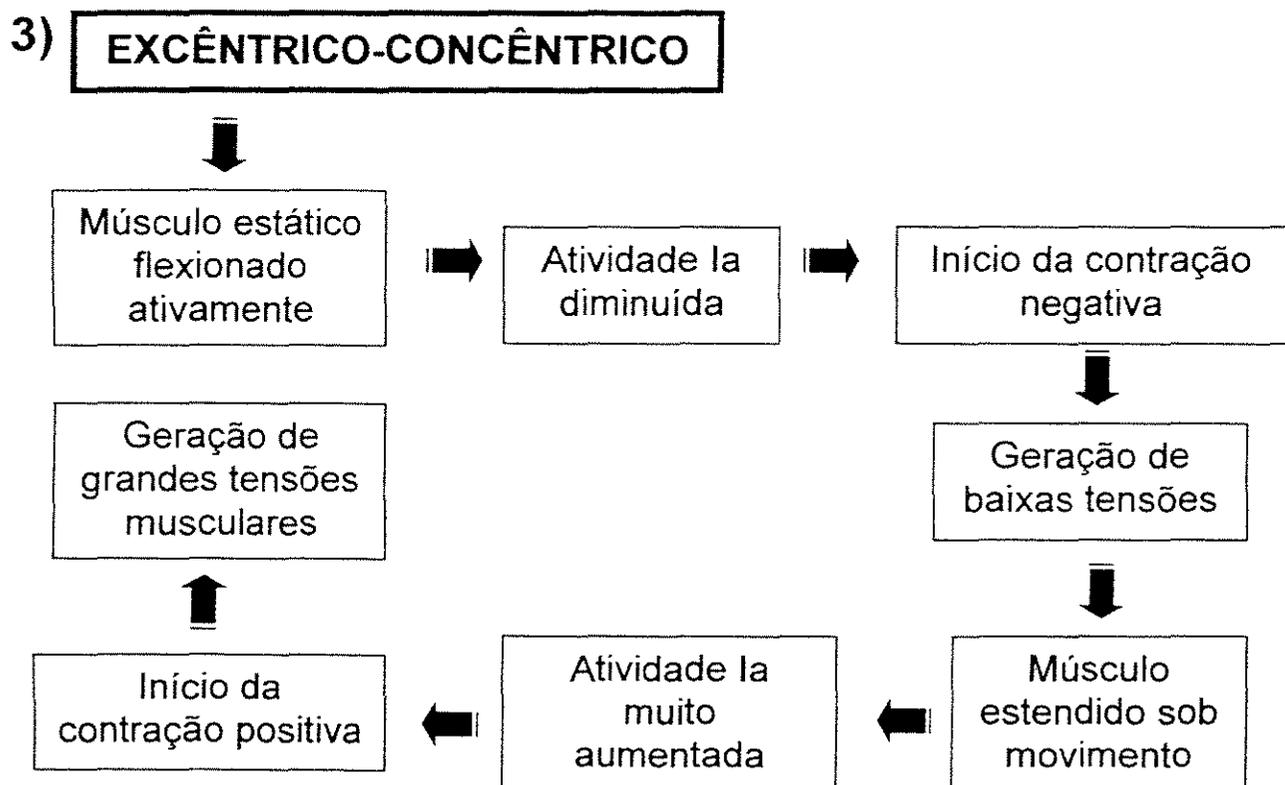
QUADRO 6.1 Atividade neuromuscular eliciada exclusivamente pelo trabalho concêntrico.

No início do movimento excêntrico, o músculo encontra-se completamente fletido e inercialmente estático, o que torna a atividade la fraca. Mesmo assim, tais impulsos manifestam-se em função da ação fusimotora gama (γ), a qual mantêm a contração, para sustentar a sobrecarga na posição de flexão. Quando o músculo começa estirar-se, as tensões produzidas, unicamente, na contração negativa, são muito baixas (QUADRO 6.2).



QUADRO 6.2 Atividade neuromuscular eliciada exclusivamente pelo treinamento excêntrico.

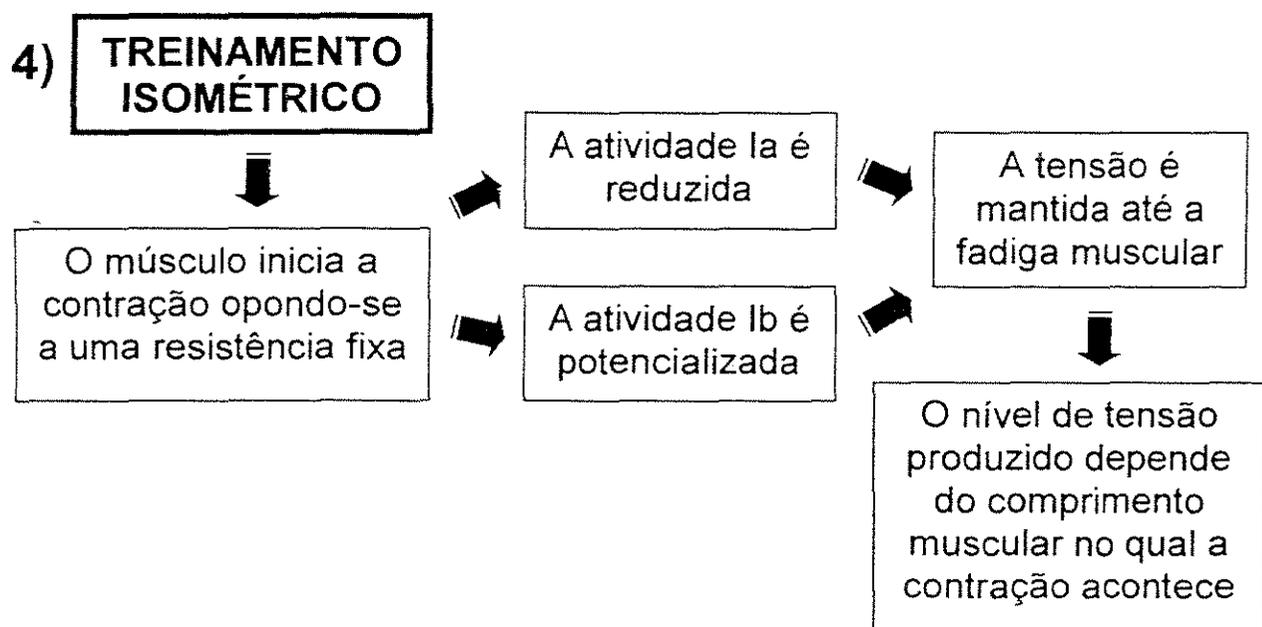
Na atividade muscular seqüenciada por movimentos excêntricos-concêntricos, o processo inicial de contração do músculo é idêntico ao do trabalho excêntrico. No entanto, no término da fase negativa, a dinâmica inercial do estiramento somada ao comprimento aumentado das fibras, potencializa ainda mais a ativação das terminações Ia. Tal fato, promove maior resistência do músculo para estirar-se, produzindo, conseqüentemente, elevados níveis de tensão na fase concêntrica (QUADRO 6.3).



QUADRO 6.3 Atividade neuromuscular gerada pela forma de solicitação excêntrica-concêntrica.

↳ **TRABALHO ISOMÉTRICO** – Como nesse modo de demanda funcional não ocorre mudança na velocidade de contração e no comprimento das fibras, a tensão muscular varia, principalmente, de acordo com a eleição do ângulo específico a ser trabalhado.

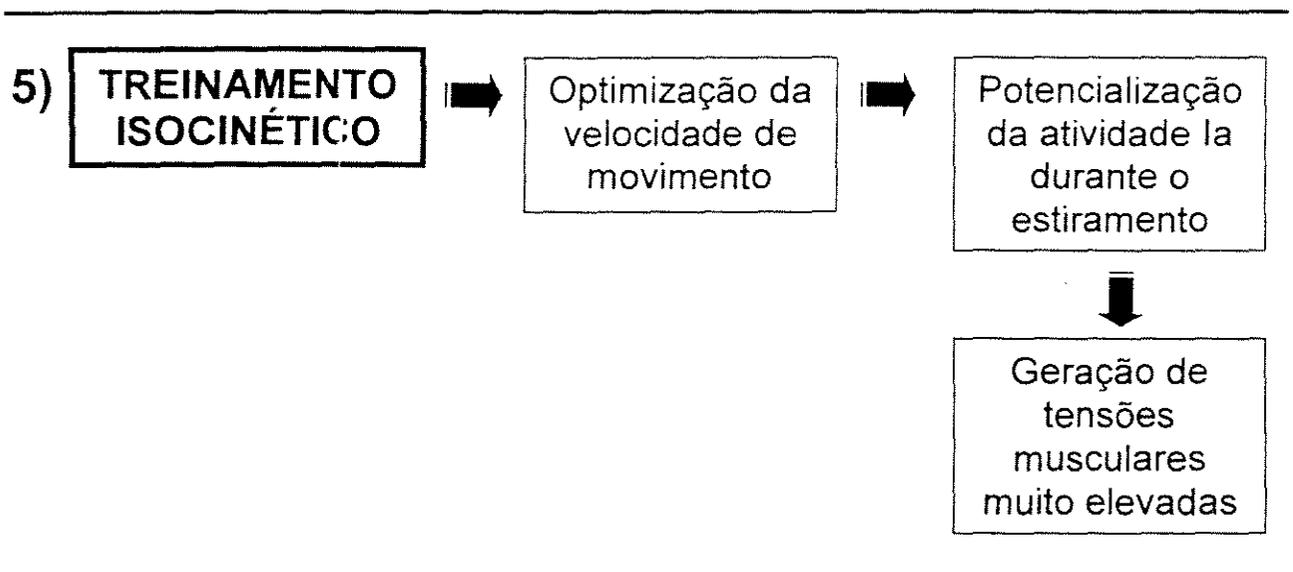
No trabalho isométrico, o músculo exerce, ativamente, sua força contra uma resistência imóvel. Tal processo, dá origem a dois *inputs* neurais concorrentes: a atividade Ia – através da ação fusimotora gama, a qual objetiva manter a contração – e a atividade Ib – que estimula o relaxamento das fibras musculares. O tempo de duração desse tipo de contração é efêmero e depende do limiar de fadiga suportado pelo músculo. Por sua vez, o grau de intensidade produzido durante a tensão muscular ativa relaciona-se ao comprimento de tal estrutura: é maximizada próxima do tamanho em repouso e manifesta-se com menor magnitude em outras faixas operacionais (QUADRO 6.4).



QUADRO 6.4 Atividade neuromuscular no trabalho isométrico

↳ **TRABALHO ISOCINÉTICO** – Nessa forma de treinamento pode-se modular, uniformemente constante, a velocidade do movimento, porém, poucas situações no dia-a-dia são reproduzíveis de tal maneira.

No treinamento isocinético, ajustando a velocidade do movimento à sensibilidade das terminações Ia, é possível aumentar a atividade reflexa de tais receptores. Isso acarreta maior resistência durante o estiramento muscular, gerando, conseqüentemente, tensões bastante elevadas na contração do músculo (QUADRO 6.5).



QUADRO 6.5 Atividade neuromuscular no trabalho isocinético

6.1.3 COMENTÁRIOS A RESPEITO DA CONTEXTUALIZAÇÃO METODOLÓGICA DA FORÇA EM SITUAÇÕES PRÁTICAS

O déficit na força de músculos dos membros inferiores e superiores pode tornar as atividades cotidianas de pessoas comuns, dificultosas, como por exemplo, subir escadas ou carregar sacolas de compras (Guedes & Guedes,1995). Portanto, essa qualidade física é entendida como um dos componentes primários da aptidão muscular, que deve ser desenvolvido em sedentários, juntamente com a flexibilidade e a resistência.

Indivíduos destreinados não conseguem manifestar a expressão plena da força, devido à inibição neural no cérebro e nos receptores musculares. Um dos efeitos do treinamento é reduzir estas inibições, permitindo o desempenho total desta capacidade (Sharkey,1990).

Em pessoas com este *status* físico, pressupõe-se a necessidade de incremento gradual de pequenas cargas de trabalho, com movimentos pouco complexos, que incluam contrações concêntricas e excêntricas. O treinamento isotônico, ao contrário do isométrico, possibilita as adaptações neurais mencionadas, sem sobrecarregar o sistema cardiovascular. A exigência de um padrão de velocidade regular, obtido com esforço máximo no trabalho isocinético, é um ponto negativo nesta circunstância.

Profissionais de múltiplas áreas ligadas à saúde utilizam, habitualmente, a medida de força máxima como um referencial confiável para quantificar o nível de força individual, avaliar o grau de lesão ou de

desequilíbrio muscular e verificar a eficiência dos programas de treinamento e reabilitação (Ekblom,1989; Braith et al.,1993). Neste perfil de atuação, os exercícios são muitas vezes aplicados com uma movimentação angular restrita e específica, especialmente, em lesões ortopédicas e pós-operatórios, quando a dor, rigidez articular e debilidade muscular limitam a amplitude de ação do músculo (Graves et al.,1989).

Atividades com fins reabilitatórios podem empregar resistências isotônicas monitoradas com dinamometria ou dispositivos isocinéticos. O segundo método, no entanto, oferece maior segurança (Kovaleski et al.,1995). O trabalho isométrico é particularmente útil a pacientes que tiveram suas articulações imobilizadas (Morrissey et al.,1995).

O treinamento da força muscular é um dos fatores mais importantes no processo formativo dos atletas (Bompa,1990). Esportes cíclicos e acíclicos apresentam exigências diferenciadas, quanto à velocidade que influencia a força.

A natação e o remo por exemplo, são modalidades de padrão motor cíclico, que se beneficiam com o treinamento isocinético, porque este é capaz de reproduzir a velocidade constante apresentada em praticamente toda a performance, na qual supera-se a resistência da água com elevado grau de esforço. Outra vantagem deste tipo de trabalho é poder desenvolver a potência em diversas velocidades. O voleibol, o basquete, e o salto em altura que se caracterizam como acíclicos, apresentam velocidade variada e grande necessidade de capacidade reativa (explosiva) do sistema neuro-muscular (Verkochansky,1995). Neste caso, exercícios isotônicos de força, realizados com a maior velocidade

possível, promovendo a seqüência de contração excêntrica-concêntrica, são os mais indicados. Este método também é denominado como trabalho negativo-positivo, método de choque, ou ainda treinamento pliométrico (Moura,1988; Radcliffe & Farentinos,1985; Verkochansky,1996; Gracelli,1983).

Atividades laborais que exigem esforço físico no manuseio e transporte de cargas, comumente, afetam a postura de maneira negativa. Segundo Guedes & Guedes (1995), fraqueza nos músculos abdominais, assim como tensões excessivas nos paravertebrais, também podem causar disfunções posturais. A manutenção de um nível satisfatório de força abdominal deve colaborar na prevenção e/ou minimização de dores agudas e crônicas, a nível lombar.

Sugerimos programas que englobem exercícios isotônicos concêntricos e excêntricos, de flexão do quadril na posição de decúbito dorsal. O ângulo entre a coxa e o tronco deve variar entre noventa e trinta graus, com uma execução cadenciada - lenta/média - sem sobrecargas adicionais além do peso do próprio corpo.

Estudos realizados com indivíduos que apresentavam algum tipo de deficiência neuromuscular, devido à paralisias parciais (demonstrada através de graus variados de debilidade em diferentes músculos), indicam que os testes de força dinâmica são instrumentos valiosos para avaliar a dimensão da incapacidade. Apesar dos métodos de treinamento dinâmico terem sido úteis, os pesquisadores notaram maiores benefícios com exercícios isométricos, os quais proporcionaram respostas mais rápidas e intensas na ativação de grupos de unidades motoras, tanto

em pacientes, como em indivíduos saudáveis, pós-mobilizados temporariamente (McComas et al., 1986).

Acreditamos que os níveis de força muscular podem ser melhorados, com a utilização sistematizada de exercícios com movimentos naturais, com pesos livres ou em máquinas e equipamentos afins. No entanto, independente dos recursos eleitos e, de acordo com as considerações de Bompa (1990), devemos submeter o(s) músculo(s) à tensões de no mínimo 60% da força máxima, por um período suficiente de tempo ou repetições.

Parece não existir um método que seja o melhor, pois os três tipos abordados possuem características bem diferenciadas. O treinamento isocinético é eficiente, mas de aplicação limitada, além de necessitar de equipamento de alto custo. Exercícios isotônicos são de aplicação mais simples, barata e relativamente populares, porém exigem supervisão constante por provocarem maiores riscos de lesões musculares. Quanto ao trabalho isométrico, possui utilidade limitada e específica, sendo mais empregado na reabilitação, quando não se pode realizar nenhum outro tipo de exercício ou em atividades nas quais a mesma forma de contração esteja presente. Por outro lado, os exercícios de isometria podem promover a indesejada elevação da pressão sangüínea.

Concluimos que, qual seja o programa de treinamento da força adotado, ele deve ser apropriado, principalmente, ao nível de aptidão muscular e de coordenação motora individual.

6.2 AS METODOLOGIAS DE TREINAMENTO DA FLEXIBILIDADE

6.2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Alter (1988) dimensiona esta qualidade física como mobilidade articular, liberdade de movimento, ou ainda, amplitude de movimento angular de uma articulação ou de um grupo de articulações. Já, Hamill (1995) define-a como a faixa limítrofe do movimento de um segmento e afirma que ela é influenciada, principalmente, pelo tamanho efetivo dos músculos antagonistas e pelo nível de atividade neural do músculo, no momento que está sendo alongado.

A promoção de maiores níveis de flexibilidade ocorre pelo emprego sistematizado de estímulos denominados **ALONGAMENTOS**, que são solicitações de aumento da extensibilidade do músculo e de outras estruturas, mantidas por um determinado tempo. Os alongamentos baseiam-se no princípio de ativação de fusos musculares e órgãos tendinosos de golgi, sensíveis às alterações no comprimento e velocidade, e na tensão dos músculos, respectivamente. Os impulsos destes receptores provocam respostas reflexas, que por sua vez induzem adaptações nas unidades musculotendíneas, as quais são benéficas para o ganho da mobilidade articular. (FIGURA 6.2)

A flexibilidade pode ser caracterizada de duas maneiras: **ESTÁTICA** (manutenção de uma determinada faixa de alongamento, durante mais de cinco segundos, alcançada através de lenta condução do músculo até o ponto especificado); e **DINÂMICA** ou **BALÍSTICA** (amplitude muscular aferida em movimento contínuo) (Alter, 1988; Sharkey, 1990; Blair et al., 1994).

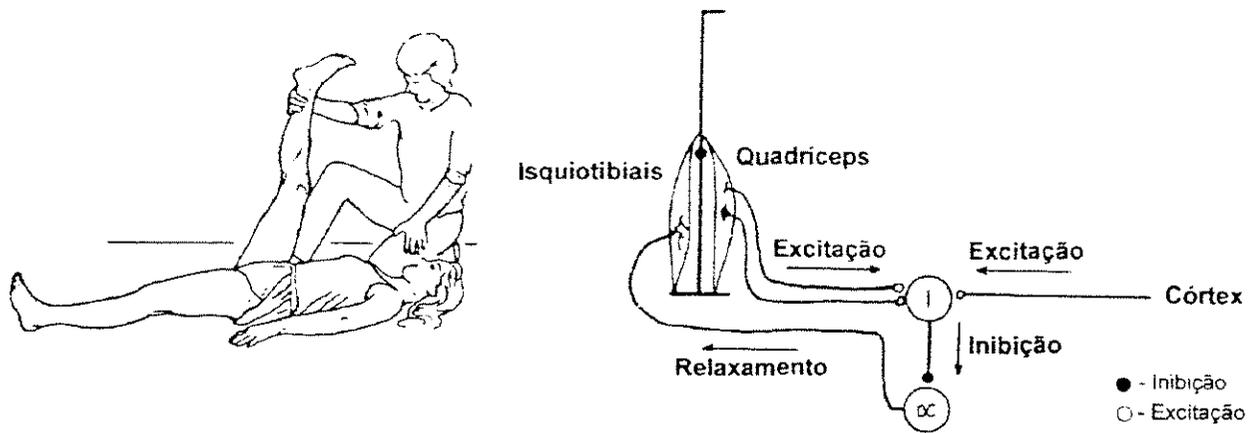


FIGURA 6.2 O esquema demonstra algumas das inibições e excitações reflexas, ocorridas em um alongamento. O objetivo primordial das técnicas é utilizar os mecanismos Ia e Ib, durante a solicitação funcional de agonistas e antagonistas, para promover o maior relaxamento possível do músculo estirado (modificado de Enoka, 1994).

Fox & Mathews (1988), Manno & Nicolini (1987), Blair et al (1994) comentam que no alongamento estático, ocorre maior possibilidade de aumento do número de sarcômeros em série, conseqüentemente, do comprimento muscular, devido ao maior tempo de exposição às tensões geradas no estiramento, que se mantêm inalterado. Os mesmos autores preconizam também que, no alongamento balístico, a forma abrupta de solicitação muscular provocada pela estiramento dinâmico, ativa mais intensamente os fusos e, minimamente, os órgãos tendinosos. Com isso, estimula-se a contração dos músculos alongados, o que acarreta maior resistência na distensibilidade e provável aumento na dor durante o estímulo.

As principais técnicas de desenvolvimento desta capacidade abordadas na literatura (Tubino, 1980; Manno & Nicolini, 1987; Alter, 1988; Sharkey, 1990; Blair et al., 1994) são:

↪ ALONGAMENTO PASSIVO - Não ocorre contribuição ou contração ativa do sujeito submetido à ação, ou seja, o alongamento é totalmente promovido por forças externas, através do auxílio de um parceiro ou de um equipamento mecânico. (FIGURA 6.3a)

↪ ALONGAMENTO ATIVO - É estabelecido pela atividade muscular do próprio indivíduo envolvido na ação, sem ajuda externa. (FIGURA 6.3b)

↪ FACILITAÇÃO NEUROMUSCULAR PROPRIOCEPTIVA (F.N.P.) - Consiste basicamente de um processo seqüencial, iniciado por um alongamento passivo estático, seguido de uma contração isométrica de 6 a 10 segundos do músculo que é mantido alongado, e imediatamente após, aplica-se outro alongamento assistido de maior amplitude que o primeiro. Abrange também outras variações, associando, alternadamente, contrações excêntricas, concêntricas e isométricas, durante a estimulação de músculos agonistas e antagonistas. Segundo os autores citados no parágrafo anterior, tal técnica é baseada em importantes mecanismos neurofisiológicos, que incluem facilitação e inibição, resistência, irradiação, indução e reflexos. Knott & Voss (1968) concebem-na como um método que “promove ou ativa os mecanismos neuromusculares através da estimulação dos proprioceptores”. (FIGURA 6.3c)

Cabe aqui, um comentário a respeito dos princípios de todas as técnicas descritas. É prudente afirmar que todas geram algum tipo de estimulação nos proprioceptores. Etnyre & Abraham (1986) confirmam nossa suposição, ao afirmarem que as influências neurais homônimas (relativas ao próprio músculo) e recíprocas (relativas ao músculo antagonista), de receptores fusais e tendíneos, são habitualmente identificadas em todos os métodos de alongamento conhecidos. Em nosso

ponto-de-vista, parece que a FNP é a que melhor potencializa essas ações reflexas, devido as formas combinadas de solicitação funcional, supostamente mais adequadas.

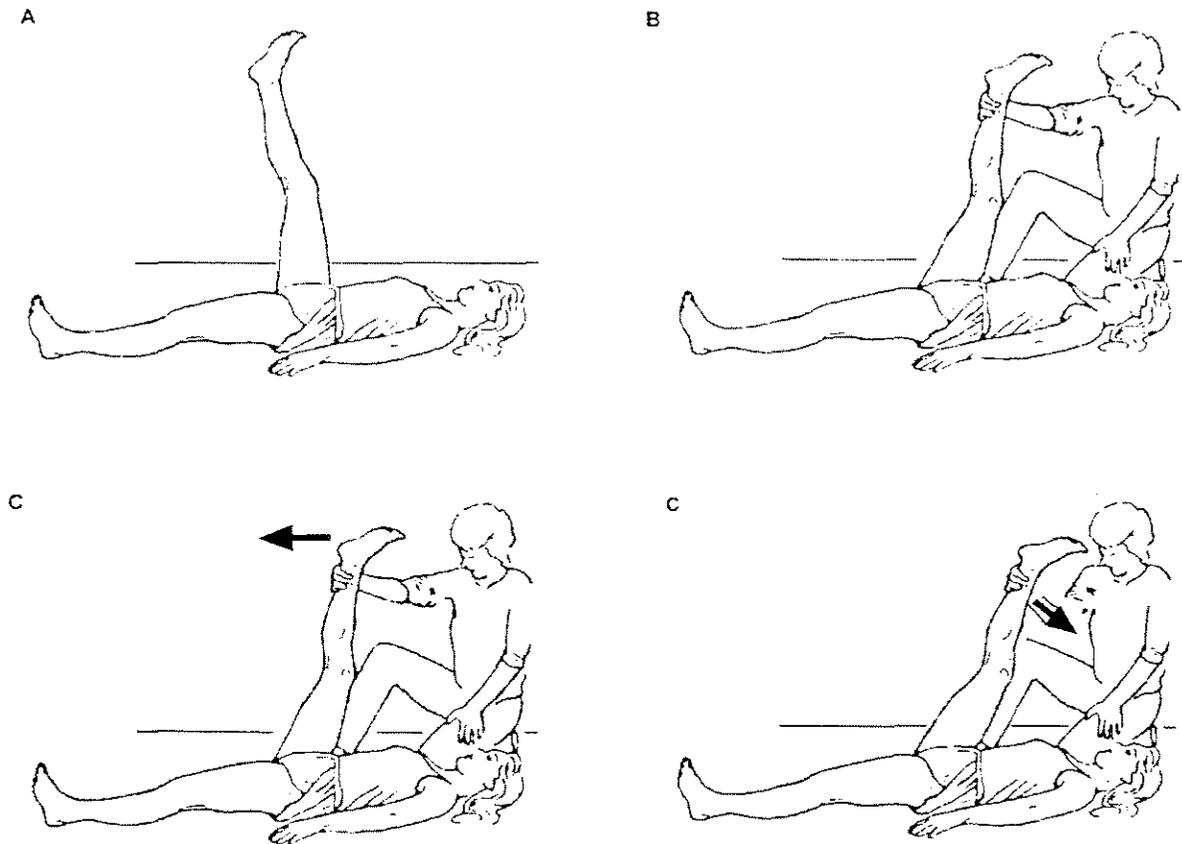


FIGURA 6.3 Técnicas de alongamento: **(A)** ativo; **(B)** passivo; **(C)** f.n.p. (modificado de Enoka, 1994 e Alter, 1988).

Alguns autores preconizam que a eficiência das técnicas de alongamento baseia-se na observação de alguns aspectos fundamentais:

1) A REGIÃO MUSCULAR SOLICITADA; a localização precisa das tensões seletivas e seqüenciadas dos alongamentos, estimula focalmente os receptores articulares e musculares, os quais contribuem na geração de

algumas das mensagens cinestésicas que influenciam o controle gestual (Esnault,1986). Há benefício, principalmente, nas atividades cuja exacerbação da consciência corporal é determinante para a realização das tarefas motoras, como é o caso da dança, da ginástica olímpica, da ginástica rítmica e de alguns outros esportes individuais e coletivos com o mesmo perfil.

2) ADEQUAÇÃO À PRECISÃO DO GESTO MOTOR EXECUTADO, já que a sensação proprioceptiva é quem modula as sutis correções a serem feitas no movimento íntegro, de caráter esportivo ou não (Esnault,1986; Alter,1988).

3) O TEMPO DE MANUTENÇÃO DE CADA ESTÍMULO, pois as adaptações em estruturas fibrosas como fâscias superficiais, fâscias intermusculares e aponeuroses, necessitam de mais tempo em relação ao tecido muscular para que sejam alcançados a distensão e o relaxamento desejados. A duração recomendada varia de 5 a 60 segundos (Tubino,1980; Esnault,1986; Manno & Nicolini, 1987; Sharkey,1990; Blair et al,1994), sendo que das técnicas de F.N.P., passando pelo alongamento estático passivo, até o alongamento estático ativo, o tempo deve aumentar progressivamente, pois a intensidade decresce também nesta ordem. Segundo Blair et al (1994), a relação observada entre intensidade e duração do estímulo na aplicação dos alongamentos, deve ser sempre inversamente proporcional. Acreditamos que para as técnicas estáticas, 30 segundos parece ser um tempo mínimo suficiente para produzir o relaxamento necessário, desde que a intensidade aplicada que não gere dor.

4) O AQUECIMENTO DO MÚSCULO, através de métodos ativos, estimula o deslizamento mecânico entre os tecidos, e a forma de tensão seletiva no

tecido muscular, gerando uma melhor vascularização das estruturas fibrosas, em particular dos tendões e otimizando a preparação para situações de maior esforço. O mesmo não acontece com métodos de caráter passivo (Esnault,1986; Blair et al,1994). Também há influência no aumento da sensibilidade dos receptores neurais e da velocidade de condução dos impulsos nervosos (Manno & Nicolini,1987).

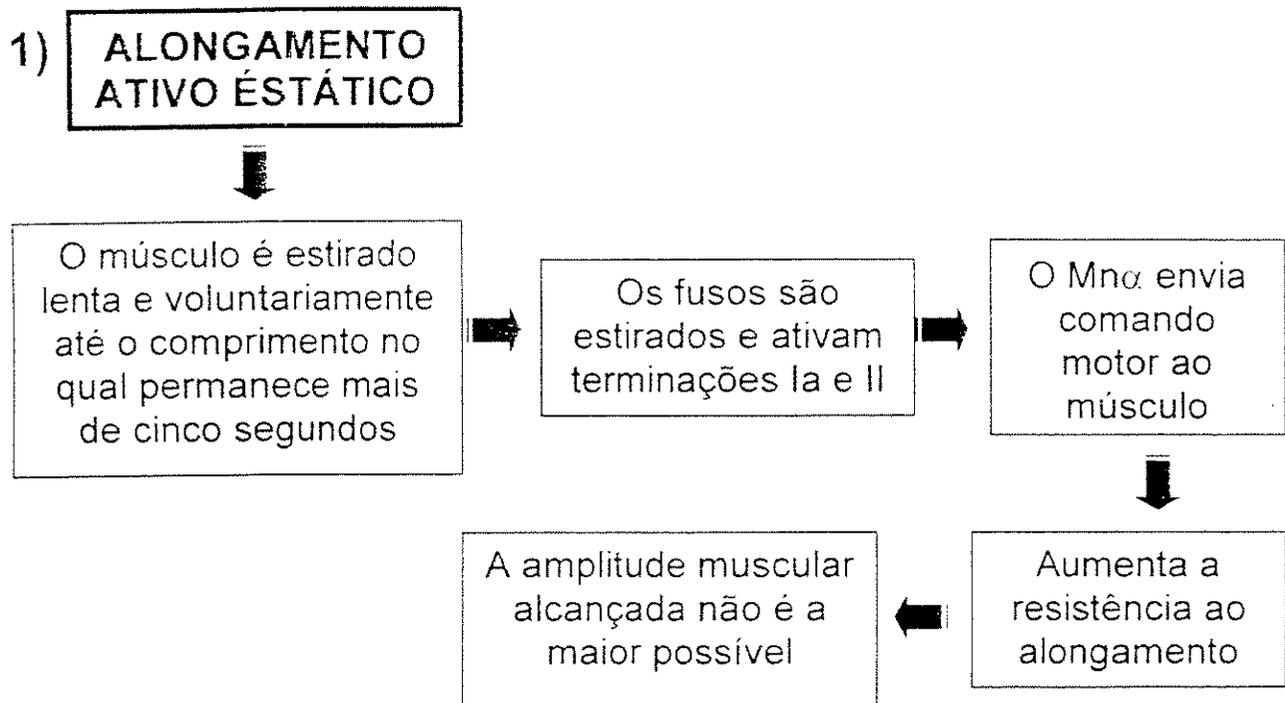
5) O NÚMERO DE REPETIÇÕES OU DE ESTÍMULOS, mencionado na literatura para a obtenção dos resultados desejados, preconiza a aplicação de 2 a 6 séries, para as diferentes técnicas abordadas (Tubino,1980; Manno & Nicolini,1987; Blair et al,1994; Guedes & Guedes,1995).

6.2.2 ANÁLISE RELACIONAL ENTRE AS ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA FLEXIBILIDADE E OS CIRCUITOS NEURAI PROPRIOCEPTIVOS

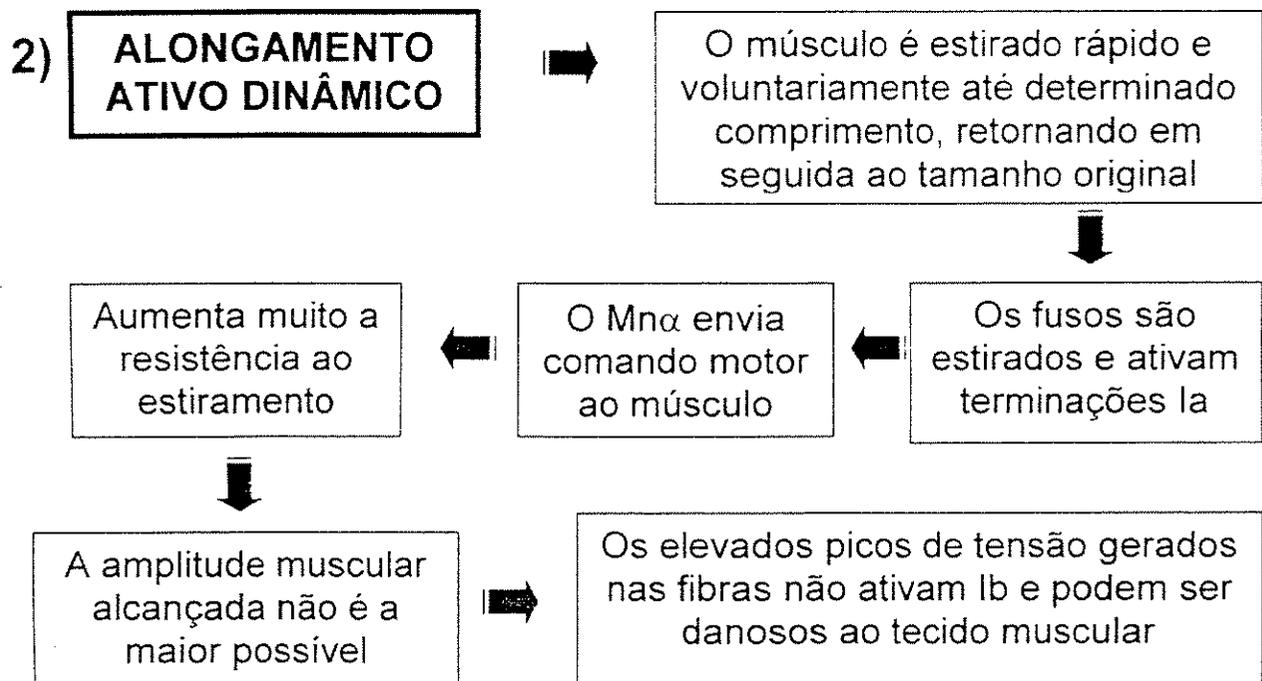
No mesmo teor do item 6.1.2, intencionamos apresentar uma abordagem que consiste em tentar elucidar, como cada estratégia de alongamento potencializa as respostas neurais propioceptivas, as quais interferem nas propriedades musculares relacionadas ao aumento da flexibilidade.

Essa descrição esquemática teórica observa a atividade reflexa das terminações Ia e Ib, frente as “manobras” metodológicas, já citadas em nosso trabalho, através dos QUADROS 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9.

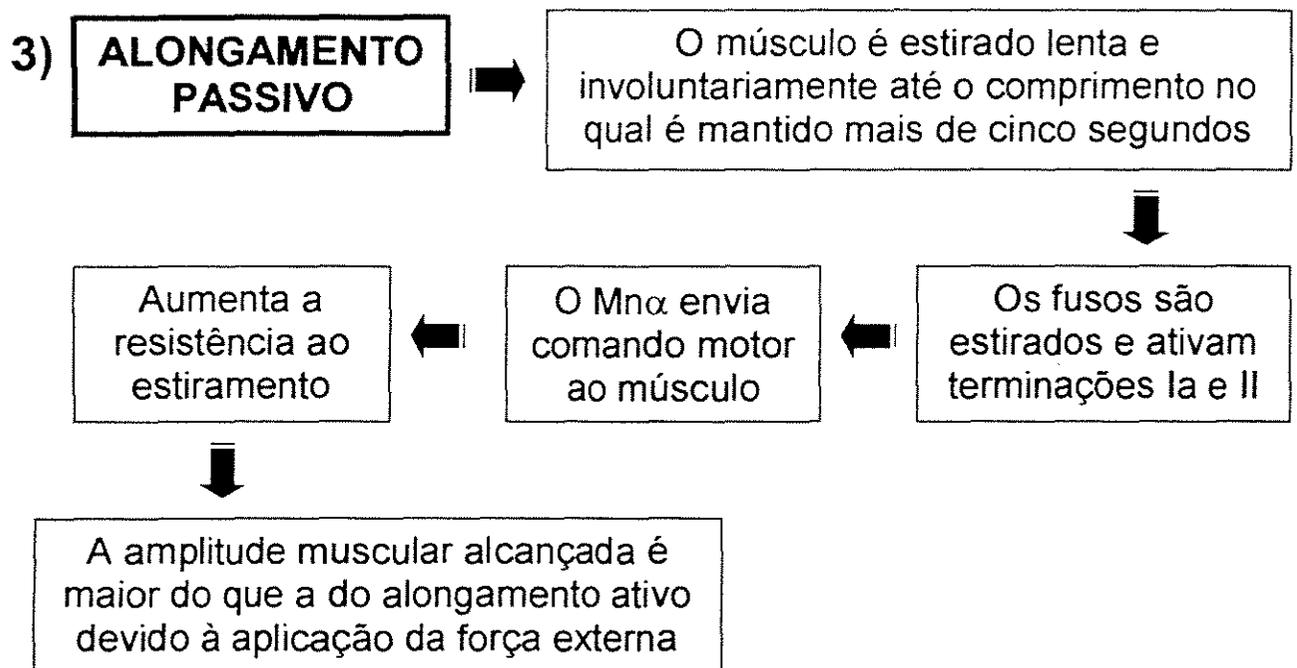
Para discutir esses fenômenos, consideramos como referência os procedimentos ilustrados nas figuras 6.3a, 6.3b e 6.3c.



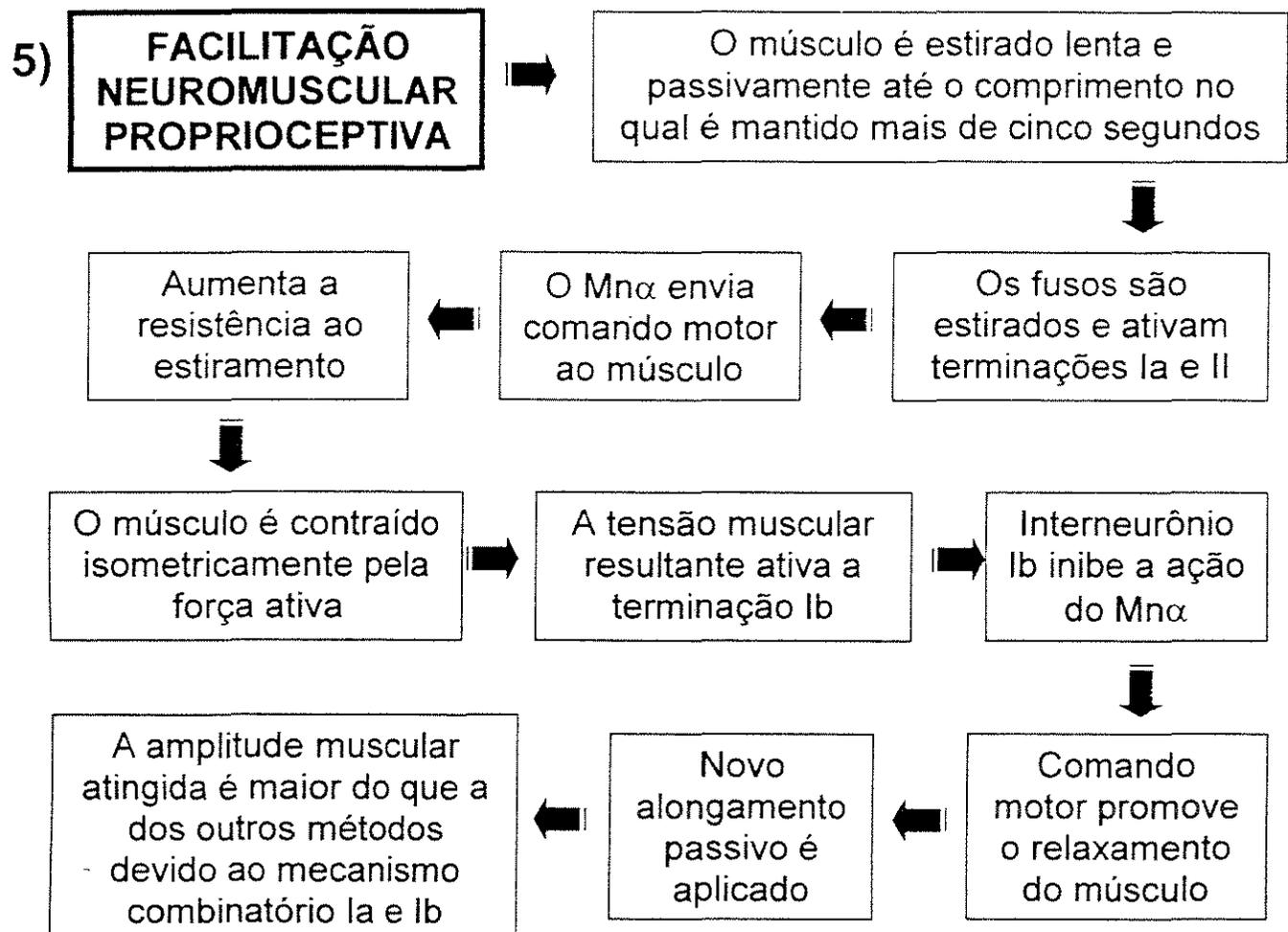
QUADRO 6.6 Atividade neuromuscular no alongamento ativo estático



QUADRO 6.7 Atividade neuromuscular no alongamento ativo dinâmico



QUADRO 6.8 Atividade neuromuscular no alongamento passivo.



QUADRO 6.9 Atividade neuromuscular no método F.N.P.

6.2.3 COMENTÁRIOS A RESPEITO DA CONTEXTUALIZAÇÃO METODOLÓGICA DA FLEXIBILIDADE EM SITUAÇÕES PRÁTICAS

Segundo Esnault et al. (1986), a prática dos alongamentos se constitui em uma atividade física especial, uma vez que mobiliza a totalidade do indivíduo e solicita os parâmetros comuns à todas as disciplinas corporais : atenção, percepção dos deslocamentos corporais no espaço tridimensional, percepção precisa dos posicionamentos segmentares e do apoio dos pés, manutenção do equilíbrio ortostático, recrutamento da força muscular e ajustes permanentes das variações nos sistemas de equilíbrio e de tensão muscular.

Sabemos que a flexibilidade declina progressivamente com o envelhecimento e com a inatividade física (Sharkey, 1990; Blair et al., 1994). Em grupos de 3ª idade e de indivíduos adultos sedentários, o alongamento tem se firmado como uma prática corriqueira, sendo benéfico tanto ao promover um aumento do trofismo nos tecidos musculares e conjuntivos, quanto em maximizar estados de relaxamento psicofísicos.

Para essas populações, a técnica F.N.P. poderia ser considerada inadequada, em parte, por provocar o fenômeno da manobra de Valsalva e, conseqüentemente a elevação da pressão sangüínea e maiores esforços cardiovasculares, especialmente para pessoas hipertensas (Knott & Voss, 1968; Alter, 1988). Outro motivo que justifica essa impropriedade é a geração de grande tensão muscular, invariavelmente acompanhada pela dor. Por outro lado Alter (1988) menciona a melhoria concomitante da força, resistência, e flexibilidade, através da técnica de repetidas contrações (RC). Já os alongamentos

estáticos passivo e ativo contribuiriam de maneira mais gradual e lenta, porém, com menores riscos de lesões musculares.

Na dança e na ginástica olímpica, atividades que se caracterizam por esforços de grande intensidade, com exigências de alto nível de domínio corporal em todos os gestos, as técnicas de F.N.P. podem contribuir, potencializando ao máximo o limite de mobilidade articular e o ajuste equilibrado da força muscular, melhorando também a coordenação motora (Alter, 1988). Isso geraria, por conseguinte, benefícios qualitativos fundamentais à performance. O inconveniente é que não permitem ampliar a sensibilidade cinestésica, proporcionalmente, durante a intensificação do estímulo, em função do estiramento ser executado por uma força externa. Os alongamentos ativo e passivo também são utilizados nessas atividades, respectivamente, por dispensar ajuda de outra pessoa e por demandar menos esforço em relação à F.N.P. (o que em alguns momentos é vantajoso). A prática de ambos é mais empregada como forma de aquecimento e de relaxamento.

Em atividades ligadas à harmonização postural, como reabilitação de atrofia muscular nos desalinhamentos corporais, onde limitações funcionais estão quase sempre presentes, o alongamento tem se mostrado eficaz. Porém, antes de discutir os métodos mais apropriados, recomendamos observar se as limitações advêm das modificações morfológicas e estruturais ou da diminuição da capacidade funcional dos músculos ou de ambas.

Podemos presenciar em diversas práticas motoras, indivíduos que apresentam elevados graus de desvios posturais e/ou de assimetrias musculares, executando tarefas normalmente, sem dor, ao

passo que, também notamos pessoas com o “dito” alinhamento ideal, queixando-se de dores e impossibilitadas de exercerem as atividades mais simples. Nos dois casos, a resposta pode estar ligada ao nível de aptidão muscular. Quando os encurtamentos, decorrentes da diminuição dos níveis desejáveis de flexibilidade, forem acompanhados de dor, acreditamos que seja bastante difícil a utilização do alongamento ativo. De outro modo, o alongamento estático passivo configura-se como um recurso muito útil, no restabelecimento dos padrões normais de comprimento e de tensão do músculo, por ser executado com auxílio extrínseco. A F.N.P. não parece conveniente, devido à magnitude do esforço requerido em sua aplicação.

Atividades no trabalho que exigem dos indivíduos esforços físicos contínuos e/ou movimentos repetitivos, usualmente, geram tensão e fadiga muscular precoce, o que pode acarretar lesões de maior gravidade. Apesar de identificar, predominantemente, fatores de risco ocupacionais ligados à organização, ambiente e mobiliário, a ergonomia do trabalho também tem demonstrado preocupação com as posturas e movimentos empregados nas tarefas, que por sua vez, relacionam-se aos aspectos biológicos da saúde.

É cada vez mais freqüente, a implementação da ginástica laboral em indústrias de grande porte. O emprego do alongamento é um dos procedimentos priorizados em um programa de atividade física no trabalho. A aplicação de poucas sessões do método estático ativo, deve ajudar a reduzir a fadiga muscular e o *stress* mental, causado pelas tarefas rotineiras. O método estático passivo, talvez, esteja mais indicado para indivíduos que apresentam fadiga crônica e dor, possibilitando um maior relaxamento com menos esforço, além da possibilidade de interação social

dos trabalhadores. A F.N.P. parece inapropriada, em função dos objetivos, nesse contexto, não primarem por ganhos maximizados de flexibilidade. O uso de tal técnica, provavelmente, proporciona risco de lesões, em virtude do quadro físico apresentado por esse tipo de trabalhador.

A prática da educação física em atividades ligadas à deficiência física, “abre as portas” não só para a readaptação motora dessas pessoas, mas também para um novo horizonte de reintegração social. A dificuldade de locomoção no ambiente físico, causada pelo rompimento de alguma capacidade sensório-motora, é comum e impõe aos deficientes uma nova leitura do mundo que os cerca. A potencialização dos sentidos cinestésicos acontece, via de regra, como forma de compensação, principalmente em deficientes visuais.

O alongamento pode tornar-se útil nesse contexto, acentuando a percepção do “jogo” de diferentes tensões e comprimentos, ao qual o músculo se submete. Assim sendo, auxiliaria na localização mais eficiente dos segmentos corporais, durante o posicionamento e o deslocamento do corpo no espaço. Acreditamos que a técnica estática ativa deve ser a que mais contribuiria dentro de tal enfoque.

Em lutas de contato corporal, especialmente no judô e jiu-jitsu, a percepção do grande número de forças de contração e de extensão, envolvidas nas ações de combate, é bastante solicitada. O incremento dessas propriedades é fundamental para o sucesso das técnicas. A ampliação dos limites de flexibilidade do ombro e do quadril pode representar uma melhora significativa na performance de tais atividades. Em esportes dessa natureza, tanto a F.N.P., quanto o alongamento estático passivo garantem o aumento da amplitude articular

estática, enquanto o alongamento ativo solicita a flexibilidade dinâmica e a cinestesia.

Em esportes coletivos como o voleibol, atletas que demonstram um desempenho acima da média na coordenação dos gestos desportivos, utilizam a cinestesia corporal como recurso para tal fim. Por exemplo, um jogador pode realizar uma cortada, golpeando a bola para o lado esquerdo, ao mesmo tempo em que posiciona seu corpo e sua cabeça para o lado direito, para iludir o bloqueio adversário. Essa ação indica uma eficiência gestual com alto grau de complexidade. Nesse caso, os alongamentos ativos são os que mais contribuem para a percepção cinestésica. Outro aspecto a ser considerado diz respeito a sobrecarga de tensão e fadiga muscular, ao final das partidas, resultante de atos motores repetidos durante horas, com alto grau de exigência física. O alongamento estático passivo seria a técnica mais recomendada para promover o relaxamento necessário.

Entendemos que atividades que necessitam de grandes amplitudes músculo-articulares, devem valer-se das vantagens da F.N.P. para alcançá-las.

Tarefas motoras que exigem uma consciência corporal muito acentuada, podem aumentar a capacidade cinestésica através dos alongamentos ativos, sendo recomendado a utilização, predominante, da forma estática.

Emprega-se a técnica dinâmica, somente em situações específicas que requerem tal necessidade, contudo, em níveis de exigência fisiológica não muito próximas ao limite máximo.

Em circunstâncias especiais, onde ocorrem limitações funcionais (encurtamentos musculares, tensões crônicas) e dor, os indivíduos podem alcançar maiores benefícios, com a aplicação de alongamentos estáticos passivos.

Acreditamos que a utilização combinada de várias técnicas, quando necessário, pode produzir excelentes resultados, nas atividades que requisitam o envolvimento da flexibilidade.

7. CONCLUSÃO

Através dos dados pesquisados em diversos estudos, conseguimos observar que a propriocepção desempenha uma importante função no sistema locomotor humano, durante a regulação de movimentos simples de uma única articulação, assim como na execução de gestos mais elaborados e complexos, de natureza multi-articular. Deduzimos que não é possível realizar movimentos voluntários sem a presença desse sistema reflexo.

O controle postural humano também pode ser aferido através da atividade proprioceptiva, que concorre, de forma integrada, com os *inputs* dos sistemas visual e vestibular. Os receptores localizados nos músculos extensores do pescoço e tríceps sural desempenham papéis estratégicos em tal processo.

Apesar de nosso trabalho não objetivar as situações que envolvem o gestual desportivo, entendemos que a postura adequada pode otimizar a execução das ações, especialmente, no contexto da performance. Consideramos que o treinamento das técnicas motoras não deve ser conflitante com os reflexos tônicos posturais, para que o desempenho desejado seja efetivo.

Na infância, as “estratégias” corporais empregadas para a estabilização da postura são provenientes, principalmente, de *inputs* dos proprioceptores musculares. Durante o desenvolvimento do sistema postural da criança, a interação entre as informações advindas desses

receptores e de outras modalidades sensoriais, representa o princípio fundamental para a aquisição do equilíbrio corporal, em diversas condições ambientais.

Em relação ao envolvimento dos receptores proprioceptivos no ato motor, destacamos os mecanorreceptores musculares, por sua localização e participação mediadora, no início e decorrer da atividade do músculo.

A ação dos fusos traduz as mudanças extrínsecas do comprimento muscular e a velocidade com a qual isso acontece, como também as contrações intrínsecas das fibras intrafusais. Tais parâmetros são controlados pelo reflexo de estiramento (Ia).

Os impulsos provenientes dos receptores fusais são relevantes na minimização de pequenos distúrbios internos do músculo, causados por instabilidade postural ou movimentos irregulares, significando que o reflexo Ia é importante na regulação do tônus muscular e postural.

Na área clínica, a magnitude das respostas do reflexo de estiramento é de valiosa utilidade, pois possibilita a formação de diagnósticos sobre a integridade do sistema nervoso humano. A ausência ou a fraca atividade neural sugere algum tipo de desordem - de um ou mais componentes do arco reflexo - ou ainda, uma lesão do sistema nervoso central. Por outro lado, a hiperatividade, geralmente, indica lesões em nível central, que podem estar associadas a problemas de tônus como espasticidade e rigidez.

Os órgãos tendinosos de golgi, presentes em quase todas as fibras musculares, sinalizam o nível de força ao qual o músculo se submete, durante sua contração. Estiramentos ativos ou passivos também são capazes de estimular tais receptores, porém, com menos intensidade. O controle dessa tensão é mantido, reflexamente, através da inibição autógena (Ib).

O reflexo mencionado acima, também conhecido como reflexo de estiramento inverso, representa uma importante forma de proteção do músculo, que objetiva preservar a integridade de suas fibras contra o excesso de tensão aplicada.

Quanto à ação dos mecanismos que regulam o comprimento a a tensão do músculo (Ia e Ib), durante a seqüência contínua das fases de contração muscular – concêntrica e excêntrica – observa-se uma fundamental conjunção interativa entre eles. Tal fato colabora para a desenvoltura das ações biomecânicas humanas.

Por sua vez, a plasticidade do tecido muscular, evidenciada pelo treinamento das capacidades físicas força e flexibilidade, subordina-se, primordialmente, aos comandos emanados das estruturas e mecanismos proprioceptivos. É a partir dessa hierarquia fisiológica, que se torna possível a manifestação das mudanças adaptativas do músculo - de ordem bioquímica, celular e tecidual - em resposta ao *stress* físico dos exercícios.

Outro fato que corrobora a afirmação anterior, vem do trabalho de Schaaf et al. (1993). Os autores verificaram que duas células musculares, uma de contração rápida e a outra de contração lenta,

sofreram uma transformação morfo-fisiológica inversamente proporcional, em decorrência da troca de suas respectivas inervações.

De outra maneira, a preponderância hierárquica do sistema nervoso sobre o muscular pode ser verificada em indivíduos que apresentam lesões medulares. Em virtude do impulso neural não atingir mais o músculo, torna-se impossível para tal estrutura, produzir movimento novamente, mesmo tendo sua integridade anatômica preservada.

O entendimento da relação entre os circuitos neurais proprioceptivos Ia e Ib e os parâmetros biomecânicos musculares, possibilita-nos adequar a frequência, intensidade e duração dos estímulos de cada “estratégia” metodológica específica, empregados para o aprimoramento da aptidão muscular.

Concluimos que nos trabalhos de flexibilidade, a velocidade utilizada para alongar o músculo até a posição desejada deve ser lenta, para que o mesmo não exerça grande resistência contra o estímulo de estiramento.

Quando uma estrutura muscular for mantida alongada, em sua amplitude limítrofe, durante um tempo considerável, recomenda-se que o indivíduo submetido à ação, realize uma tênue contração do músculo antagonista. Através do mecanismo de conexão recíproca, é possível que os agonistas recebam níveis adicionais de impulsos inibitórios, os quais auxiliariam a potencializar o relaxamento muscular.

Quanto ao tempo de duração dos estímulos para maximizar a flexibilidade, devem ser observados: 1) o *timing* dos O.T.G.s, que são

estimulados com certo “atraso” durante a geração das tensões musculares (devido à complacência das fâscias e algum nível de “folga” no tendão); 2) e a demanda funcional necessária para desencadear a mudança no comprimento das fibras musculares (ocorrida pela adição dos sarcômeros séricos). Considerando tais fatores, recomendamos que a permanência seja de pelo menos vinte segundos, em cada amplitude angular trabalhada.

Entre todas as formas de alongamento estudadas, o método ativo é aquele que possibilita o menor ganho de flexibilidade. Contudo, é também o único a empregar um padrão de solicitação voluntária, incapaz de exceder os limites fisiológicos individuais. Por sua vez, o método passivo consegue obter maior amplitude no alongamento, mas ocasionalmente, ultrapassa os níveis apropriados de extensibilidade do músculo. A facilitação neuromuscular proprioceptiva representa a técnica mais eficiente para o aumento dessa capacidade, porém, requer um bom condicionamento muscular pregresso.

Quanto à produção da força muscular, acredita-se que através do recrutamento e ativação de várias unidades motoras, os quais mobilizam certa quantidade de tecido muscular, tal processo é viabilizado. Deduzimos que para potencializar essa qualidade física, é necessário envolver o maior número possível de grupos musculares, na demanda funcional do treinamento.

Resultados experimentais das mudanças morfológicas do músculo esquelético humano, após o treinamento, demonstraram existir uma baixa correlação entre o aumento da força e da área seccional das fibras musculares. Este fato revela a importância da atividade neural

gerada em tais estruturas, durante a manifestação dessa capacidade. Os efeitos específicos incluem elevação da velocidade de condução e da frequência dos impulsos, recrutamento de maior número de unidades motoras, além da redução das inibições reflexas do músculo.

A força é expressada através das tensões promovidas nas contrações musculares. Na literatura, menciona-se que a fase excêntrica do trabalho tem uma importância estratégica (devido ao aumento da atividade Ia), para que níveis mais elevados de tensão muscular sejam alcançados, na contração subsequente (concêntrica).

Entendemos que, as formas de treinamento que buscam elevar a atividade reflexa Ia (ex: métodos pliométrico e de pré-estiramento), durante o estado de prontidão do músculo que antecede o início do movimento concêntrico, devem maximizar os ganhos da força muscular.

O movimento é um meio indispensável para ação dos profissionais da área de educação física e afins. Como a propriocepção é subjacente à motricidade, concluímos que os diversos estudos inerentes aos fenômenos proprioceptivos podem contribuir, de modo relevante, para a discussão do conhecimento prático, observado no campo de atuação das áreas em questão.

8. BIBLIOGRAFIA *

AIRES, M. M. Fisiologia. Guanabara Koogan : Rio de Janeiro. 1991. 370p.

ALTER, M. J. Science of stretching. Champaign : Human Kinetics. 1988. 243p.

ANISS, A. M., DIENER, H. -C. et al. Behavior of human muscle receptors when reliant on proprioceptive feedback during standing. Journal of Neurophysiology, v. 64, n. 2, p. 661-670, 1990.

ANISS, A .M., GANDEVIA, S. C., BURKE, D. Reflex changes in muscle spindle discharge during a voluntary contraction. Journal of Neurophysiology, v.59, n.3, p. 908-921, 1988.

AULETE, C. Dicionário contemporâneo da língua portuguesa. 5. ed. Rio de Janeiro : Delta, 1970. v. 2. 832p.

BLAIR, S. N., PAINTER, P. et al. Prova de esforço e prescrição de exercício. Rio de Janeiro : Revinter, 1994. 431p.

BOMPA, T. O. Theory and methodology of training. 2. ed., Dubuque : Kendall/Hunt, 1990. 373p.

- BOSSAVIT, G. H.-, JAMI, L. et al.** Activation of golgi tendon organs by asynchronous contractions of motor units in cat leg muscles. Neuroscience Letters, v. 103, p. 44-49, 1989.
- BRAITH, R. W., GRAVES, J. E. et al.** Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 25, n. 1, p. 132-138, 1993.
- BRIGMAN, C. F.** The structure of tendon organs in the cat: a proposed mechanism for responding to muscle tension. The Anatomical Record, v. 162, n.2, p. 209-220, 1968.
- BURGESS, P.R., WEI, J. Y. et al.** Signaling of kinesthetic information by peripheral sensory receptors. Annual Reviews of Neuroscience, v.5, p. 171-187, 1982.
- BURKE, R.E.** The control of muscle force : motor unit recruitment and firing patterns. In : JONES, N. L. et al. Human muscle power. Champaign : Human Kinetics, 1986. p. 97-109.
- CANELAS, H. M., ASSIS, J. L., SCAFF, M.** Controle segmentar da motricidade. In : CANELAS, H. M. et al. Fisiopatologia do sistema nervoso. São Paulo : Sarvier, 1983. p 54-63.
- CASTRO, M. J., McCANN, D. J. et al.** Peak torque per unit cross-sectional area differs between strength-trained and untrained young adults. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 27, n. 3, p. 397-403, 1995.

- CHANGEAUX, J. P.** O cérebro em peças soltas. In : CHANGEAUX, J. P. O homem neuronal. Lisboa : Dom Quixote, 1991a. p. 47-74.
- CHANGEAUX, J. P.** Os espíritos animais. In : CHANGEAUX, J.P. O homem neuronal. Lisboa : Dom Quixote, 1991b. p. 75-103.
- CHANGEAUX, J. P.** Epigénese. In : CHANGEAUX, J.P. O homem neuronal. Lisboa : Dom Quixote, 1991c. p. 209-250.
- CLARK, F. J.** Information signaled by sensory fibers in medial articular nerve. Journal of Neurophysiology, v. 38, p. 1464-1472, 1975.
- CORVO, R. H.** Consideraciones sobre la locomoción humana. In : CORVO, R. H. Morfología funcional deportiva: sistema locomotor. Havana : Editorial Científico-Técnica, 1989. p. 41-85.
- DIETZ, V.** Human neuronal of automatic functional movements : interactions between central programs and afferent input. Physiological Reviews, v. 72, n. 1, p. 38-44, 1992.
- EKBLOM, B.** Strength training and some clinical applications. Cinesiologie. v. 28, n. 127, p. 282, 1989.
- EKLUND, G.** Position sense and state of contraction: the effect of vibration. Journal of Neurology and Neurosurgery Psychiat, v. 35, p. 606-611, 1972.

ENOKA, R. M. Neuromechanical basis of kinesiology. 2. ed. Champaign : Human Kinetics. 1994. 336p.

ESBÉRARD, C. A. Mecanismos neurais da postura e do movimento. In: ESBÉRARD, C. A. Fisiologia. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 1991, p. 199-219.

ESBÉRARD, C. A. Fisiologia do arco reflexo. In : ESBÉRARD, C. A. Neurofisiologia. Rio de Janeiro : Campus, 1980a. p. 237-253.

ESBÉRARD, C. A. Mecanismos motores: a regulação da postura e do movimento. In : ESBÉRARD, C. A. Neurofisiologia. Rio de Janeiro : Campus, 1980b. p. 315-335.

ESBÉRARD, C. A. Mecanismos motores: os reflexos posturais. In: ESBÉRARD, C. A. Neurofisiologia. Rio de Janeiro : Campus, 1980c. p. 337-348.

ESNAULT, M. VIEL, E. HARICHAUX, P. La pratique du "stretching", ou étirements raisonnés myo-tendineux et aponévrotiques, neuro-physiologie, anatomie et méthodologie. Cinesiologie, v. 25, n. 106, p.137-146, 1986.

ETNYRE, B. R., ABRAHAM, L. D. H-reflex changes during static stretching and two variations of proprioceptive neuromuscular facilitation techniques. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, v. 63, p. 174-179, 1986.

EVARTS, E. V. Sherrington's concept of proprioception. Trends in Neuroscience, v. 4, p. 44-46, 1981.

FOX, E. L., MATHEWS, D .K. Bases fisiológicas da educação física e dos desportos. 4.ed. Rio de Janeiro : Interamericana, 1988. 488p.

FUTUYMA, D. J. A origem e impacto do pensamento evolutivo. In : FUTUYMA, D.J. Biologia evolutiva. 2.ed. São Paulo : Sociedade Brasileira de Genética / CNPq, 1993a. p. 2-18.

FUTUYMA, D. J. Evolução humana e aspectos sociais. In : FUTUYMA, D.J. Biologia evolutiva. 2. ed. São Paulo : Sociedade Brasileira de Genética/CNPq, 1993b. p. 531-567.

GOODWIN, G .M., McCLOSKEY, D. I., MATTHEWS, P. B .C. The contribution of muscle afferents to kinaesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by effects of paralyzing joint afferents. Brain, v. 95, p. 705-748, 1972.

GOULD, S. J. O polegar do panda. São Paulo : Martins Fontes, 1989. 297p.

GOULD, S. J. O sorriso do flamingo. São Paulo : Martins Fontes. 1990, 424p.

GRACELLI, G. Efeitos do treinamento pliométrico e treinamento isotônico com sobrecarga sobre variáveis componentes do salto em extensão.

Santa Maria, 1983. 90p. Dissertação(mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 1983.

GRAVES, J. E., POLLOCK, M. L. et al. Specificity of limited range of motion variable resistance training. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 21, n. 1, p.84-89, 1989.

GREGOR ,R. J., ABELEW, T. A. Tendon force measurements and movement control: a review. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 26, n. 11, p. 1359-1372, 1994.

GREGORY, J. E., MORGAN, D. L., PROSKE, U. The discharge of cat tendon organs during unloading contractions. Experimental Brain Research, v. 61, p. 222-226, 1986.

GRIGG, P. GREENSPAN, B. J. Response of primate joint afferent neurons to mechanical stimulation of knee joint. Journal of Neurophysiology, v. 40, p. 1-8, 1977.

GUEDES, D. P., GUEDES, J. E. R. P. Prescrição e orientação de programas de exercícios físicos. In : GUEDES, D. P., GUEDES, J. E. R. P. Exercício físico na promoção da saúde. Londrina : Midiograf, 1995. p. 77-96.

GUYTON, A C. Receptores sensitivos e sensações mecanoreceptivas. In : GUYTON, A C. Fisiologia básica. Rio de Janeiro : Interamericana, 1978. p. 332-345.

GUYTON, A C. Reflexos do tronco cerebral e medula. In : GUYTON, A C. Fisiologia básica. Rio de Janeiro : Interamericana, 1978. p. 355-368.

HALATA, Z., RETTIG, T., SCHULZE, W. The ultrastructure of sensory nerve endings in the human knee joint capsule. Anatomy and Embryology, v. 172, p. 265-275, 1985.

HAMILL, J. Neurological considerations for movement. In : Biomechanical basis of human movement. Baltimore : Williams & Wilkins. 1995. p. 11-137.

HASAN, Z., STUART, D. G. Animal solutions to problems of movements control: the role of proprioceptors. Annual Reviews of Neuroscience, v. 11, p. 199-223, 1988.

HIGBIE, E. J., CURETON, K. J. et al. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. Journal of Applied Physiology, v. 81, n. 5, p. 2173-2181, 1996.

HOLLMANN, W. Manutenção da aptidão física. In: HOLLMANN, W. Medicina esportiva clínica e prática. São Paulo : E.P.U./Edusp, 1978. p. 305-308.

HOLLMANN, W., HETTINGER, T. Medicina de esporte. São Paulo : Manole, 1983. 678p.

- HORSTMANN, G. A., DIETZ, V.** A basic posture control mechanism: the stabilization of the centre of gravity. Eletroencephalography and Clinical Neurophysiology, v. 76, p. 165-176, 1990.
- HORTOBÁGYI, T., HILL, J. P. et al.** Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. Journal of Applied Physiology, v. 80, n. 3, p. 765-772, 1996.
- HOUK, J. C., RYMER, W. Z., CRAGO, P. E.** Dependence of dynamic responses of spindles receptors on muscle length and velocity. Journal of Neurophysiology, v. 46, n. 1, p. 143-166, 1981.
- HULLIGER, M., DÜRMLLER, N. et al.** Flexible fusimotor control of muscle spindle feedback during a variety of natural movements. Progress in Brain Research, v. 80, p. 87-101, 1989.
- HUNT, C. C.** Mammalian muscle spindle: peripheral mechanisms. Physiological Reviews, V. 70, n. 3, p. 643-663, 1990.
- HUTTON, R. S., NELSON, D. L.** Stretch sensitivity of golgi tendon organs in fatigued gastrocnemius muscle. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 18, n. 1, p. 69-74, 1986.
- KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H., JESSEL, T. M.** Essentials of neural science and behavior. Stamford : Appleton & Lange. 1995. 717p.
- KNOTT, M. VOSS, D. E.** Facilitación neuromuscular propioceptiva. Buenos Aires : Panamericana. 1968. 413p.

- KOMI, P. V.** The stretch-shortening cycle and human power output. In: JONES, N. L. Human muscle power. Champaign : Human Kinetics. 1986. p. 27-39.
- KOVALESKI, J. E., HEITMAN, R. H. et al.** Isotonic preload versus isokinetic knee extension resistance training. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 27, n. 6, p. 895-899, 1995.
- KREIGHBAUM, E. BARTHELS, K. M.** Neuromuscular aspects of movement. In: KREIGHBAUM, E. BARTHELS, K. M. Biomechanics: a qualitative approach for studying human movement. 2.ed. Minneapolis : Burgess. 1985. p.107-140.
- JAMI, L.** Golgi tendon organs in mammalian skeletal muscle : functional properties and central actions. Physiological Reviews, v. 72, n. 3, p. 623-666, 1992.
- LAKATOS, E. M., MARCONI, M. A.** Metodologia científica. São Paulo : Atlas. 1989. p.238.
- LATASH, M.** Neurophysiological basis of movement. State Collage, 1997. (in press).
- LEHMKUHL, L. D., SMITH, L. K.** Alguns aspectos da fisiologia e neurofisiologia muscular. In: LEHMKUHL, L. D., SMITH, L. K. Cinesiologia clínica. São Paulo : Manole, 1987. p. 95-115.

LEIGHTON, J. R. Weight training. 2.ed. Springfield : Charles C. Thomas, 1983. 275p.

LESTIENNE, F. G., GURFINKEL, V. S. Postural control in weightlessness: a dual process underlying adaptation to an unusual environment. TINS, v. 11, n. 8, p. 359-363, 1988.

LOEB, G. E. Neural control of locomotion. Bioscience, v.39, n.11, p.800-804, 1989.

MACCOMAS, A. J. Muscle performance in neuromuscular disorders. In: JONES, N. L. Human muscle power. Champaign : Human Kinetics, 1986. p. 309-324.

MACDOUGALL, J.D. Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization. In: JONES, N. L. Human muscle power. Champaign : Human Kinetics, 1986. p. 269-288.

MACHADO, A. Grandes vias aferentes. In: MACHADO, A. Neuroanatomia funcional. Rio de Janeiro : Atheneu, 1988. p. 233-251.

MANNO, V., NICOLINI, I. Aquecimento e "stretching". Scuola dello Sport, n. 10, p. 29-36, 1987.

MARCONI, M. A., LAKATOS, E. M. Técnicas de pesquisa. São Paulo : Atlas, 1988. 205 p.

- MAYHEW, T. P., ROTHSTEIN, J. M. et al.** Muscular adaptation to concentric and eccentric exercise at equal power levels. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 27, n. 6, p. 868-873, 1995.
- MEINEL, K.** Motricidade I: teoria da motricidade esportiva sob o aspecto pedagógico. Rio de Janeiro : Ao Livro Técnico, 1984. 257p.
- MELLEROWICZ, H. MELLER, W.** Treinamento físico: bases e princípios fisiológicos. 2.ed. São Paulo : E.P.U., 1987. 139p.
- MESURE, S., CRÉMIEUX, J.** Contrôle de l'équilibre postural et effet de l'entraînement sportif. Cinesiologie, n. 145, p. 228-234, 1992.
- MORRISSEY, M. C., HARMAN, E. A., JOHNSON, M. J.** Resistance training modes: specificity and effectiveness. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 27, n. 5, p. 648-660, 1995.
- MOUNTCASTLE, V.B.** Funções motoras do tronco cerebral e dos gânglios de base do encéfalo. In: MOUNTCASTLE, V.B. Fisiologia médica. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 1978, p. 694-698.
- MOURA, N. A.** Treinamento pliométrico: introdução às bases fisiológicas, metodológicas e efeitos do treinamento. Revista Brasileira de Ciência e Movimento, v. 2, n. 1, p. 30-40, 1988.
- NAKAGAWA, H., OHASHI, N. et al.** The contribution of proprioception to posture control in normal subjects. Acta Otolaryngol, v. 504, p. 112-116, 1993. (suppl.).

- O'HAGAN, F. T., SALE, D. G. et al.** Comparative effectiveness of accommodating and weight resistance training modes. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 27, n. 8, p. 1210-1219, 1995.
- POLACEK, P.** Receptor of the joints: their structure, variability and classification. Acta facultatis medicae universitatis brunensis. v. 23, p. 1-107, 1966.
- PROSKE, U.** The golgi tendon organ: properties of the receptor and reflex actions of impulses arising from tendon organ. International Review of Physiology, v. 25, p. 127-171, 1981.
- PYYKKÖ, I., AALTO, H. et al.** Hierarchy of different muscles in postural control. Acta otolaryngol, v. 468, p. 175-180, 1989. (suppl.).
- PYYKKÖ, I., AALTO, H. et al.** Posture and gait. Amsterdam : Elsevier Science, 1988, p. 95-104.
- RADCLIFFE, J. C. FARENTINOS, R. C.** Plyometrics : explosive power training. 2.ed. Champaign : Human Kinetics. 1985. 117p.
- ROODNEY, K. J., HERBERT, R. D., BALNAVE, R. J.** Fatigue contributes to the strength training stimulus. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 26, n. 9, p. 1160-1164, 1994.
- ROTHWELL, J.** Control of human voluntary movement. 2.ed. London : Chapman & Hall, 1994. 502p.

SALE, D.G. Neural adaptation in strength and power training. In: JONES, N. L. Human muscle power. Champaign : Human Kinetics, 1986. p. 289-307.

SCHAUF, C. L., MOFFETT, D. F., MOFFETT, S. B. Fisiologia humana. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan. 1993. 690p.

SCHMIDT, R. F. Neurofisiologia. 4.ed. São Paulo : E.P.U./ Springer/ Edusp., 1979. 372p.

SEVERINO, A. J. Metodologia do trabalho científico. 17.ed. São Paulo : Cortez & Moraes. 1991. 252p.

SHARKEY, B. J. Physiology of fitness. 3a ed. Champaign : Human Kinetics, 1990. 432p.

SLEIVERT, G. G., BACKUS, R. D., WENGER, H. A. The influence of a strength-sprint training sequence on multi-joint power output. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 27, n. 12, p. 1655-1665, 1995.

SMITH, J. L., HUTTON, R. S., ELDRED, E. Postcontraction changes in sensitivity of muscle afferents to static and dynamic stretch. Brain Research, v. 78, p. 193-202, 1974.

STEPHENS, J. A., REIKING, R. M., STUART, D. G. Tendon organs of cat medial gastrocnemius: responses to active and passive forces as a function of muscle length. Journal of Neurophysiology, v. 38, n. 5, p. 1217-1231, 1975.

TUBINO, M. J. G. Metodologia científica do treinamento desportivo. 2. ed., São Paulo : Ibrasa, 1980, 435p.

VERKOCHANSKY, Y. V. Preparação da força especial. Rio de Janeiro: Palestra, 1995, 132p.

VERKOCHANSKY, Y. V. Força: treinamento da potência muscular. Londrina : C.I.D., 1996. 201p.

WEI, J. Y., KRIPKE, B. R., BURGESS, P. R. Classification of muscle spindle receptors. Brain Research, v. 370, p. 119-126, 1986a.

WEI, J. Y., SIMON, J. et al. Joint angle signaling by muscle spindle receptors. Brain Research, v. 370, p. 108-118, 1986b.

WEI, J. Y., SIMON, J. et al. Ascending spinal neurons that signal the position of the hind-limbs under static conditions : location and receptor input. Experimental Brain Research, v. 54, p. 7-22, 1984.

*** A FORMATAÇÃO DAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS SEGUE A NORMA DA ABNT NBR 6023, DE AGOSTO/1989.**