

Artigo de Revisão

# Métodos de investigação funcional do cérebro e suas implicações na prática da fisioterapia neurológica

## *Functional Investigation Methods of the Brain and its implication in Neurological Physiotherapy Practice*

Fernando Cesar Iwamoto Marcucci<sup>1</sup>, Samuel Vandresen Filho<sup>2</sup>

### RESUMO

Os recentes avanços dos métodos de investigação funcional do cérebro têm possibilitado um melhor entendimento das funções corticais, fornecendo uma gama de possibilidades investigativas para a fundamentar a abordagem fisioterápica. A análise destes métodos, como a Imagem por Ressonância Magnética Funcional, a Tomografia por Emissão de Pósitrons, a Magnetoencefalografia e a Estimulação Magnética Transcranial, podem contribuir na elaboração de estratégias terapêuticas, bem como ser uma fonte de esclarecimento sobre os mecanismos neurofisiológicos envolvidos na recuperação neurológica. O objetivo desta revisão é identificar as informações oriundas destes métodos investigativos que são úteis no desenvolvimento da fisioterapia neurológica, principalmente nos aspectos motores dos pacientes após uma lesão cerebral. Através da capacidade de analisar a atividade cerebral, é possível identificar quais áreas do cérebro são ativadas durante determinados comportamentos, localizar áreas lesionadas e entender melhor o processo de recuperação neural, permitindo determinar uma melhor abordagem terapêutica para os pacientes com lesão neurológicas, verificar uma possível recuperação ou remodelação através dos tratamentos físicos e quantificar esta melhora, para além dos aspectos clínicos. Para otimizar o potencial terapêutico e o tempo disponível da terapia é essencial conhecer os avanços teóricos e tecnológicos que permitem compreender os mecanismos fisiológicos subjacentes às teorias de recuperação cerebral.

**Unitermos:** *Fisioterapia, Imagem por Ressonância Magnética, Tomografia Computadorizada de Emissão, Magnetoencefalografia.*

Citação: Marcucci FCI, Vandresen Filho S. Métodos de investigação funcional do cérebro e suas implicações na prática da fisioterapia neurológica. Rev Neurocienc 2006; 14(4):198-203.

### SUMMARY

Recent advancements in functional investigation methods of the brain have allowed a better understanding about cortical functions, providing a wide range of investigative possibilities to support the physiotherapeutic approaches. Methods like Functional Magnetic Resonance Imaging, Positron-Emission Tomography, Magnetoencephalography and Transcranial Magnetic Stimulation can contribute to elaboration of therapeutic strategies, as be a understanding source of the neurophysiologic mechanisms involved in the neurological recovery. This review aims to identify informations from these investigative methods which are helpful in the neurological physiotherapy development, mainly in the motor aspects after a brain injury. The capacity to analyse the cerebral activity allow us to identify which areas of the brain were activated during some specific behaviors, to localize injured areas and to provide a better understanding about the neural recovery process. These possibilities permit us to choose the more benefic approaches to the neurologic patients, to verify a recovery or a neural re-shape induced by physical therapy, and

Trabalho realizado na Universidade Estadual de Londrina e na Universidade Federal de Santa Catarina.

**1 - Fisioterapeuta, mestrando em Medicina e Ciências da Saúde/Universidade Estadual de Londrina**  
**2 - Fisioterapeuta, mestrando em Neurociências/Universidade Federal de Santa Catarina**

Endereço para correspondência: Rua Javari, 116 – Vila Nova. Londrina/Paraná - E-mail: fcim@msn.com

Trabalho recebido em 12/04/06. Aprovado em 05/07/06

to quantify these improvements, beyond clinical aspects. To optimize the therapeutic potential and the available time for therapy is essential to know theoretic and technologic advancements that allow us to understand the physiological mechanism under neural recovery theories.

**Keywords:** *Physical Therapy, Magnetic Resonance Imaging, Emission-Computed Tomography, Magnetoencephalography.*

Citation: Marcucci FCI, Vandresen Filho S. Functional Investigation Methods of the Brain and its implication in Neurological Physiotherapy Practice. Rev Neurocienc 2006; 14(4):198-203.

## INTRODUÇÃO

Os recentes avanços nos métodos de investigação funcional do cérebro têm possibilitado um melhor entendimento das funções corticais. Através da capacidade de analisar a atividade cerebral in vivo é possível identificar quais áreas do cérebro são ativadas durante determinados comportamentos, localizar áreas lesionadas e entender melhor o processo de recuperação neural. Tais avanços permitem determinar uma melhor abordagem terapêutica para os pacientes com lesão neurológicas, verificar uma possível recuperação ou remodelação através dos tratamentos físicos e quantificar esta melhora, para além dos aspectos clínicos<sup>1,2</sup>.

Em sua grande maioria, os fundamentos teóricos das técnicas empregadas na prática clínica pelo fisioterapeuta, na área da neurologia, permanecem apoiados somente pelos dados clínicos dos pacientes. Apesar de sua importância, através destes não é possível compreender em profundidade os fenômenos biológicos subjacentes à aplicação das técnicas fisioterapêuticas<sup>3,4</sup>. Por consequência, a carência de informações fisiológicas não tem permitido discussões mais concretas de resultados observados e, muito menos, o avanço da fisioterapia em termos científicos.

As técnicas de imagem e rastreamento funcional do cérebro fornecem uma gama de possibilidades investigativas para a fundamentação dos conceitos teóricos da abordagem fisioterapêutica. A análise destes métodos pode contribuir para a elaboração de estratégias terapêuticas, bem como, ser uma fonte de evidências que auxiliem no esclarecimento dos mecanismos neurofisiológicos envolvidos na lesão e recuperação neurológica<sup>4,5</sup>.

As técnicas não-invasivas de imagem e rastreamento funcional baseiam-se na avaliação de parâmetros fisiológicos para a localização de áreas cerebrais específicas relacionadas com populações neuronais ativas. A Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) e a Imagem por Ressonância Magnética Funcional (IRMf) utilizam-se de parâmetros metabólicos para a captação de sinais biológicos, enquanto a Magnetoencefalografia (MEG) identifica as atividades elétricas e magnéticas oriundas da atividade neuronal. A Estimulação Magnética Transcranial (EMT) consiste na estimulação cerebral através de uma bobina magnética posicionada próxima ao crânio que gera um estímulo focal sobre o escalpo<sup>6</sup>.

O objetivo desta revisão é identificar informações que podem ser úteis no direcionamento da fisioterapia neurológica, nos aspectos motores dos pacientes com lesão cerebral. Este estudo foi realizado em conjunto na Universidade Estadual de Londrina e Universidade Federal de Santa Catarina, por meio de levantamento literário em revistas indexadas à banco de dados, no período de julho a dezembro de 2005, nas línguas portuguesa, espanhola e inglesa, a fim de rever trabalhos que utilizaram técnicas de imagem e rastreamento funcional para analisar as peculiaridades motoras das lesões corticais e os processos de recuperação envolvidos, e assim, identificar fatores importantes que favoreçam o desenvolvimento da abordagem fisioterápica.

## PRINCIPAIS TÉCNICAS DE IMAGEM E DE RASTREAMENTO FUNCIONAL

As técnicas de imagem resultam em dados espaciais e temporais em relação à função neuronal, enquanto as técnicas de rastreamento evidenciam ligações diretas entre um estímulo, seja este periférico e central, e uma resposta fisiológica. Entre os principais métodos encontram-se a PET, a IRMf, a MEG e a EMT.

### PET e IRMf

A realização de uma determinada tarefa é acompanhada da ativação de áreas específicas do cérebro o que reflete a atividade de populações neuronais distintas. A atividade neuronal resulta em diversas reações bioquímicas relacionadas a alterações no metabolismo, e consequentemente no fluxo sanguíneo das áreas ativadas. Assim, as alterações no fluxo sanguíneo, no metabolismo de glicose e no consumo de oxigênio podem ser avaliadas como indicadores de ativação neuronal. Com o advento da PET e da IRMf, esses parâmetros são determinados de forma não-invasiva e fornecem dados valiosos para a compreensão do funcionamento do sistema nervoso central tanto em situações normais como em condições patológicas<sup>7,8</sup>.

Tanto a PET quanto a IRMf identificam a resposta hemodinâmica resultantes da atividade cerebral. Durante uma atividade cerebral, a demanda metabólica aumenta, resultando em aumento da circulação local para suprir esta necessidade. Tal alteração é captada pelo uso de um isótopo radioativo inserido em um mar-

cador biológico de atividade neuronal na PET. A imagem por IRMf é decorrente da detecção de correntes elétricas geradas pela modulação do eixo dos spins dos prótons. Ambas técnicas demonstram uma relação entre função e localização<sup>2,7,9</sup>.

As limitações técnicas destes métodos são a necessidade de um período mais extenso de atividade para haver captação de sinais, não há diferenciação temporal de ativação, não distinguem uma atuação inibitória de outra excitatória e ambos necessitam da modificação do aporte sanguíneo, o que atrasa a captação em relação à atividade em algumas centenas de milissegundos. Outra limitação técnica destes métodos dependentes do suprimento sanguíneo é em doenças onde a rede vascular esta afetada como, por exemplo, pacientes que sofreram um acidente vascular encefálico, seja este isquêmico ou hemorrágico<sup>5,10,11</sup>.

## MEG

Diferentemente da Eletroencefalografia (EEG) que mensura a atividade elétrica neuronal, a MEG capta alterações do campo eletromagnéticos oriundos da atividade elétrica dos neurônios, resultando numa localização espacial da área ativa, muito mais precisa do que a EEG. Com a MEG é possível localizar um pool de disparo neuronal e a direção da propagação dos impulsos, com uma resolução de um milissegundo ou menos<sup>2,10</sup>.

## EMT

A EMT é um método não-invasivo e não-doloroso de estimulação ou inibição da função cortical através do escalpo, com um pulso eletromagnético que ativa uma área específica definindo mapas de output motor ou áreas comportamentais. A estimulação cortical numa área motora resulta num potencial motor evocado, que causa uma atividade no músculo alvo captado por eletromiografia. Através de múltiplos receptores eletromiográficos é possível determinar padrões de ativação comum entre grupos musculares<sup>2,10</sup>.

A EMT é indicada para obter informações sobre a excitabilidade do córtex motor e sobre a resposta muscular conseqüente, dando um indicativo das vias eferentes do controle motor. O TMS pode ser utilizado inclusive com a IRMf, combinando suas informações<sup>8,11,12</sup>.

## INVESTIGAÇÃO FUNCIONAL DA RECUPERAÇÃO APÓS LESÃO CEREBRAL

Desde os primórdios da neurologia o estudo da relação entre anatomia e função sempre esteve presente e gerou conflitos. Apesar do surgimento de diversas teorias, muitas delas errôneas e generalistas, atualmente

sabe-se que o cérebro de fato apresenta relações com distribuição das áreas corporais, principalmente para as atividades motoras e sensitivas. Desse modo, o córtex possui uma representação detalhada e organizada de toda a superfície corporal assim como do campo visual, no caso dos sistemas sensoriais<sup>7,8</sup>.

O avanço das técnicas investigativas permite isolar áreas muito específicas e relacionar suas funções. A distribuição somatotópica no córtex sensitivo primário (SI) possui uma distribuição muito precisa, no entanto o córtex motor primário (MI) a distribuição é mais complexa. Existem neste, vias convergentes de diversas áreas cerebrais para um único músculo, dando o substrato para as diferentes combinações de estratégias de movimento. Há também vias divergentes de uma única área para diversos músculos e muitas interconexões horizontais entre sub-regiões de MI, indicando uma complexa interação para a realização de movimentos multiarticulares ou multissegmentares, como a estabilização proximal de um braço para o sucesso de uma atividade independente de um dedo<sup>10,13</sup>.

Estes elementos são uma peça importante para a plasticidade neural. Diferentes áreas representativas para uma mesma função motora podem servir com uma via substituta de outra lesionada, dando maior flexibilidade às readaptações<sup>1,10,14</sup>. Diversos estudos têm demonstrado que, após a lesão da área MI, áreas motoras secundárias como o córtex pré-motor dorsolateral, córtex sensorio-motor, córtex motor suplementar e parte posterior do giro cingulado são utilizados para a recuperação motora. Pacientes com pouco déficit motor apresentam pouca remodelação cortical, enquanto outros com alto grau de incapacidade possuem maiores porções de áreas secundárias ativadas<sup>1,13,15,16</sup>.

O termo "plasticidade cerebral" abrange os possíveis mecanismos de reorganização neuronal, como: o recrutamento de vias funcionalmente homólogas, mas anatomicamente distintas das áreas lesionadas, sinaptogênese, arborização dendrítica e ativação de áreas secundárias visto no "desmascaramento", ou seja, conexões que sob circunstâncias normais são pouco utilizadas, mas respondem fortemente após a lesão cerebral, refletindo uma redundância nas conexões corticais<sup>8,13</sup>.

Há ainda, dúvidas quanto aos efeitos do hemisfério cerebral contra-lateral à lesão nos resultados da recuperação motora<sup>17</sup>. Em geral, na fase aguda há uma diminuição da responsividade do hemisfério lesionado e um aumento da atividade no hemisfério contra-lateral à lesão, e esta atividade é maior nos pacientes com maior comprometimento motor. Em alguns pacientes, potenciais motores evocados no lado hemiplégico podem ser obtidos pela estimulação do hemisfério não-afetado (ipsilateral) sugerindo uma funcionalidade cooperativa entre hemisfério<sup>2,11,12</sup>. Estudos realizados com pacientes

que sofreram hemisferectomia demonstram que estes experimentam algum grau de recuperação, sendo que a estimulação cortical do hemisfério remanescente induziu potenciais motores em ambos os lados (em músculos deltóides e bíceps)<sup>18,19</sup>. Como o tempo de resposta à estimulação cortical é mais longo, é possível que as ações do hemisfério não-afetado sobre músculos ipsilaterais se dê através de vias polissinápticas como tratos corticoreticuloespinhais ou corticoproprioespinhais<sup>20</sup>.

Já em outros estudos a atividade do hemisfério não-lesionado não foi relacionada com a melhora da função motora contra-lateral e ainda pode atuar de forma inibitória no hemisfério contralateral, através de modulação por neurônios GABA-érgicos, reduzindo sua excitabilidade ao EMT. Em pacientes com hemiparesia após acidente vascular encefálico (AVE) esta forma de inibição recíproca pode ser um obstáculo para o hemisfério lesionado, sendo esta inibição mais evidente nos indivíduos com maior incapacidade motora<sup>17,21</sup>.

Ainda não é possível determinar se a atividade no hemisfério não-afetado atua de forma compensatória após a lesão, ou se é apenas vias secundárias que só se tornam aparente após a lesão de um hemisfério<sup>20</sup>. Mas tais dados indicam que pacientes que demonstram recuperação relacionada ao hemisfério lesionado tem melhor prognóstico que aqueles em que a possível recuperação se dá pelo hemisfério não-lesionado, e quanto maior for a simetria da distribuição funcional após lesão de um hemisfério, melhor o prognóstico<sup>13,19</sup>.

A reorganização cerebral inicia-se ainda na fase aguda após a lesão cortical, com melhora progressiva até a estabilização do quadro. Apesar das remodelações corticais serem mais proeminentes nas fases iniciais, mudanças na atividade cerebral continuam até um ano após a lesão<sup>1,2,16,22</sup>. Estudos longitudinais que avaliaram alterações nas áreas motoras compensatórias de pacientes com hemiplegia discordam quanto aos resultados. Alguns demonstram um aumento inicial da área recrutada seguida de uma redução progressiva destas áreas, correlacionadas com a recuperação motora<sup>13,21,23</sup>, outros demonstram um aumento progressivo da área secundária ativada<sup>22,24</sup>.

O processo de aprendizado motor é extremamente dependente da frequência de experimentação. Em indivíduos normais, alterações corticais transitórias podem ser vistas em poucas horas de treino repetitivo, como um determinado movimento de um dedo, por exemplo, resultando no aumento de sua área cortical representativa<sup>2,10,25</sup>. Alguns estudos demonstram um aumento da área cerebral de representação motora imediatamente após uma sessão de fisioterapia em pacientes que sofreram AVE, e no dia seguinte à intervenção a área diminuiu novamente, no entanto estes estudos não utilizaram controles<sup>12,26</sup>. A reorganização de longo prazo necessita de um maior período de treinamento,

por exemplo, quatro semanas, com suas mudanças persistindo por vários meses<sup>2,10</sup>.

Em pacientes com AVE subcortical, o treino intensivo durante 3 semanas aumentou a ativação dos córtex M1 e S1 no hemisfério lesionado, comparado com terapia padrão<sup>13,27</sup>. O recrutamento de populações neuronais sensorio-motoras e mudanças representacionais foram associadas a aumentos do controle motor dos membros inferiores e maior velocidade de deambulação após treinos de marcha em esteira ergométrica<sup>4</sup>.

Mudanças morfológicas na transmissão sináptica como a potencialização em longo prazo são reconhecidas como importantes para o aprendizado e a memória, podendo também estar envolvida na recuperação após lesões neurológicas. Estas mudanças são principalmente mediadas por glutamato, sendo que o aumento da excitabilidade do hemisfério contra-lateral e de regiões ao redor de uma área que sofreu isquemia pode ser resultado da diminuição da atividade inibitória GABA-érgica e também de alterações neuroprotetoras relacionadas ao pré-condicionamento isquêmico sub-letal, que pode aumentar a susceptibilidade de mudanças adaptativas relacionadas à recuperação de funções corticais vista em estudos de IRMf, PET e EMT<sup>13,28</sup>.

As informações sensitivas influenciam na função motora, tanto de forma excitatória quanto inibitória. Uma estimulação sensitiva condiciona os músculos próximos da mesma região corporal, inicialmente com uma diminuição da excitabilidade (no período de 10 a 20 ms) seguida de um grande aumento de responsividade do córtex motor (25 a 35 ms) através da EMT, bem como a anestesia de fibras sensitivas periféricas induz uma diminuição da excitabilidade cerebral<sup>2,10</sup>.

Além da sensibilidade somestésica, o feed-back proprioceptivo também é positivo para potencializar a recuperação<sup>4</sup>. A realização de movimentos passivos induz, em indivíduos normais, uma ativação sensorio-motora semelhante ao movimento voluntário, com exceção de áreas no giro do cíngulo e nos núcleos da base, e induzem uma reorganização cortical após algumas semanas de realização<sup>8</sup>.

A resposta motora também poder ser facilitada através do treino mental de movimentos não acompanhados de movimento. Tal técnica é muito utilizada no treinamento esportivo de alta performance, mas também pode ser utilizado nos pacientes com déficit na movimentação. Através EMT verificou-se uma maior facilidade de excitação após o treino mental do movimento<sup>10</sup>. A atenção, o estímulo tátil e a memória têm uma relação com áreas sensoriais secundárias, que estão intimamente relacionadas com a área 7b de Brodman, que por sua vez projetasse para o córtex pré-motor ventro-rostral e este para a área MI, sendo estas interconexões importantes na elaboração da atividade motora<sup>1,21</sup>.

## IMPLICAÇÕES PARA A PRÁTICA CLÍNICA DA FISIOTERAPIA

As evidências sugerem que o treino motor intensivo e diário em pacientes com seqüelas de doenças cerebrovasculares é favorável à recuperação funcional. Revisões sistemáticas dos estudos clínicos têm demonstrado uma correlação positiva entre o tempo e freqüência da estimulação e a melhora funcional<sup>2</sup>. No entanto, a maioria dos programas de reabilitação é limitada por tempo, custo e infra-estrutura, além de depender do estado emocional do paciente e de seus problemas de saúde<sup>2,29</sup>.

O método de Suporte de Peso Corporal (Body Weight Support) é um modo de praticar a marcha de forma intensiva e repetitiva com ganhos na velocidade e na cadência da marcha em pacientes após doenças cerebrovasculares<sup>30,31</sup>. Este método, apesar de não ser novo, ainda é pouco utilizado no Brasil. Seus benefícios clínicos tem sido documentados, com efeitos comparáveis a outras técnicas de treino de marcha, especialmente na velocidade<sup>2,31-33</sup>. No entanto, este método deve ser complementar a outras abordagens terapêuticas, como o treino funcional da marcha<sup>4</sup>. O Suporte de Peso Corporal consiste em treinar a marcha num esteira ergométrica com o paciente parcialmente suspenso sobre esta, numa velocidade e com auxílio variável conforme o paciente<sup>32,33</sup>.

Para favorecer o estímulo sensorio-motor uma possibilidade terapêutica seria diminuir a utilização e o estímulo sensorial do lado não-parético e inserir treinamento intensivo no lado parético<sup>1,15,34</sup>. Apesar de pouco difundida no Brasil, a Terapia por Restrição Induzida (Constraint-Induced Therapy) vem ganhando espaço na literatura mundial por otimizar a recuperação funcional. Esta forma de terapia tem sido bem documentada em estudos que verificaram um aumento significativo da área representativa, no hemisfério lesionado relacionada ao membro parético, com diminuição da área contra-lateral do membro não-afetado, e seus resultados são mantidos por alguns meses<sup>2,3,8,35</sup>. Além do treino funcional durante a sessão de fisioterapia, o paciente poderia ser orientado para a utilização da Terapia por Restrição Induzida, como opção terapêutica relativamente fácil de ser inserida. A Terapia por Restrição Induzida tem mostrado maiores ganhos na funcionalidade do membro parético que a Terapia Neuroevolutiva, no mesmo período<sup>2,36</sup>. Nesta terapia o paciente, com hemiparesia leve a moderada, tem seu membro não-afetado imobilizado por 6 horas diárias ou mais, associando o treino de atividades funcionais cotidianas com o membro afetado por duas semanas ou mais. No entanto, para a inserção dessa técnica, é necessário respeitar o grau de disfunção motora, sendo que em alguns pacientes com extrema incapacidade sua utilização pode não ser indicada<sup>9</sup>. Outra forma de estimular a função cortical seria a utilização de EMT juntamente com a fisioterapia, no entanto isto ainda necessita de mais estudos clínicos<sup>6,15</sup>.

O treino motor também deve ser o mais próximo possível das tarefas diárias realizadas pelo paciente. Terapias direcionadas a tarefas têm obtido melhores resultados em ensaios clínicos que terapias não direcionadas a atividades funcionais, com benefícios motores em curto e longo prazo<sup>4,37</sup>. Além disso, a orientação para a realização de exercícios funcionais em casa deve ser implementada de forma sistemática, como por exemplo, blocos de 20 minutos diários algumas vezes por dia, com tarefas simples de alcançar e manipular objetos, esvaziar vasilhames com pequenos objetos ou levantar de uma cadeira repetidamente<sup>4</sup>. Para realizar as atividades funcionais, é necessário que o paciente tenha uma capacidade mínima de força muscular para sustentar seu próprio peso, segurar objetos e deambular<sup>38</sup>. Alguns autores<sup>38-40</sup> têm preconizado a complementação das terapias com exercícios resistidos para o ganho de força muscular, sendo que estudos não demonstram aumento da espasticidade e traz possíveis ganhos na capacidade funcional.

Muitas técnicas de fisioterapia foram desenvolvidas utilizando a estimulação sensorial complementar e direcionamento da atenção para o treino motor. Com os estudos de imagem e rastreamento funcional fica evidente que a estimulação sensorial, seja esta somestésica, proprioceptiva ou visual, é positiva para fins terapêuticos e deve ser sempre favorecida na terapia. Outra possibilidade de aumentar o feed-back sensorial é o treino com movimentos bilaterais simultâneos ou a utilização de espelho para a visualização do movimento pelo paciente<sup>8,21</sup>. A importância deste tipo de treino se refere à capacidade de memorização de um procedimento ser generalizável, ou seja, uma rede neural responsável pelo controle de uma mão numa determinada tarefa pode ser utilizada nos movimentos da outra mão<sup>41</sup>.

O treino mental, ou imaginativo, tem sido proposto para melhorar a resposta motora subsequente. O paciente concentra-se e imagina o movimento antes de realizá-lo, e mesmo que o resultado não seja alcançado em primeira instância, esses padrões de ativação podem estar intactos nos pacientes e são necessários para readaptações motoras<sup>4,8,10</sup>.

## CONCLUSÃO

Dentro da realidade brasileira, na qual os de serviços de fisioterapia, para a maioria da população, carecem de investimento e infra-estrutura, a utilização de técnicas que otimizam a fisioterapia e o tempo disponível é essencial para alcançar resultados clínicos. Para isto, é necessário a revisar criticamente e constantemente a terapia e conhecer os avanços teóricos e tecnológicos que permitem compreender os mecanismos fisiológicos subjacentes às teorias de recuperação cerebral.

Apesar de possuir benefícios clínicos evidentes, muito das abordagens utilizadas na fisioterapia neurológica

foram desenvolvidas sem um respaldo fisiológico, o que impedia uma discussão aprofundada sobre os efeitos dos exercícios e os modelos de recuperação motora. A utilização de métodos investigativos funcionais para avaliar a recuperação dos pacientes com lesão cortical

adiciona e solidifica certos fundamentos necessários para avaliar a efetividade clínica. Isto possibilita ao fisioterapeuta fundamentar e desenvolver uma terapia mais eficaz, e assim trazer mais benefícios para os pacientes com lesão cerebral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Loubinoux I, Carel C, Pariente J, Dechaumont S, Albucher JF, Marque P *et al.* Correlation between cerebral reorganization and motor recovery after subcortical infarcts. *NeuroImage* 2003;20(4):2166-2180.
- Schaechter JD. Motor rehabilitation and brain plasticity after hemiparetic stroke. *Prog. neurobiol.* 2004;73(1):61-72.
- Johansen-Berg H, Dawes H, Guy C, Smith SM, Wade DT, Matthews PM. Correlation between motor improvements and altered fMRI activity after rehabilitative therapy. *Brain* 2002;125:2731-2742.
- Dobkin BH. Strategies for stroke rehabilitation. *Lancet Neurol* 2004;3:528-536.
- Dobkin BH. Editorial Comment – Functional MRI: A potential physiologic indicator for stroke rehabilitation interventions. *Stroke* 2003;34:26-28.
- Hallet M. Transcranial magnetic stimulation and the human brain. *Nature* 2000; 406:147-150.
- Saper CB, Iversen S, Frankowiak. Integration of Sensory and Motor Function: The Association Areas of the Cerebral Cortex and the Cognitive Capabilities of the Brain. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principles of Neural Science*. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2000. p.366-80.
- Rijntjes M, Weiller C. Recovery of motor and language abilities after stroke: the contribution of functional imaging. *Prog neurobiol.* 2002; 66(2):109-122.
- Mukamel R, Gelbard H, Arieli A, Fried UHI, Malach R. Coupling between neuronal firing, field potentials, and fmri in human auditory cortex. *Science* 2005; 309:951-954.
- Rossini PM, Pauri F. Neuromagnetic integrated methods tracking human brain mechanisms of sensorimotor areas 'plastic' reorganisation. *Brain Res Rev* 2000; 33(2-3):131-154.
- Foltys H, Krings T, Meister IG, Sparing R, Boroojerdi B, Thron A, *et al.* Motor representation in patients rapidly recovering after stroke: a functional magnetic resonance imaging and transcranial magnetic stimulation study. *Clin Neurophysiol* 2003; 114(12):2404-2415.
- Koski L, Mernar TJ, Dobkin BH. Immediate and long-term changes in corticomotor output in response to rehabilitation: Correlation with functional improvements in chronic stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2004; 18(4):230-249.
- Rossini PM, Calauti C, Pauri F, Baron JC. Post-stroke plastic reorganization in the adult brain. *Lancet Neurol* 2003; 2:493-502.
- Cirtea MC, Levin MF. Compensatory strategies for reaching in stroke. *Brain* 2000; 123: 940-953.
- Ward NS, Cohen LG. Mechanisms Underlying recovery of motor function after stroke. *Arch Neurol* 2004; 61(12):1844-1848.
- Tombari D, Loubinoux I, Pariente J, Gerdelat A, Albucher JF, Tardy J, *et al.* A longitudinal fMRI study: in recovery and then in clinically stable sub-cortical stroke patients. *NeuroImage* 2004; 23(3):827-839.
- Hodics T, Cohen LG. Functional neuroimaging in motor recovery after stroke. *Top Stroke Rehabil* 2005; 12(2):15-17.
- Cohen LG, Roth BJ, Wassermann EM, Topka H, Fuhr P, Schultz J, *et al.* Magnetic stimulation of the human cerebral cortex, an indicator of reorganization in motor pathways in certain pathological conditions. *J Clin Neurophysiol* 1991; 8:56-65.
- Hallet M. Plasticity of the human motor cortex and recovery from stroke. *Brain Res Rev* 2001; 36(2-3):169-174.
- Vulliemoz S, Raineteau O, Jabaudon D. Reaching beyond the midline: why are human brain cross wired? *Lancet Neurol* 2005; 4:87-99.
- Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, Frackowiak RSJ. Neural correlates of motor recovery after stroke: a longitudinal fMRI study. *Brain* 2003; 126(11):2476-2496.
- Johansen-Berg H, Matthews PM. Attention to movement modulates activity in sensori-motor areas, including primary motor cortex. *Exp Brain Res* 2002; 142:13-24.
- Calautti C, Leroy F, Guineestre JY, Baron JC. Dynamics of motor network overactivation after striatocapsular stroke: a longitudinal PET study using a fixed-performance paradigm. *Stroke* 2001; 32:2534-2542.
- Marshall RS, Perera GM, Lazar RM, Krakauer JW, Constantine RC, Delapaz RL. Evolution of cortical activation during recovery from corticospinal tract infarction. *Stroke*. 2000;31:656-61.
- Hluštík P, Solodkin A, Noll DC, Small SL. Cortical plasticity during three-week motor skill learning. *J Clin Neurophysiol* 2004; 21(3):180-191.
- Liepert J, Bauder H, Miltner WHR, Taub E, Weiller C. Treatment-induced cortical reorganization after stroke in humans. *Stroke* 2000; 31(6):1210-1216.
- Nelles G, Jentzen W, Jueptner M, Müller S, Diener HC. Arm training induced brain plasticity in stroke studied with serial Positron Emission Tomography. *NeuroImage* 2001; 13:1146-1154.
- Calabresi P, Centonze D, Pisani A, Cupini LM, Bernardi G. Synaptic plasticity in the ischaemic brain. *Lancet Neurol* 2003; 2:622-629.
- Dombovy ML. Understanding stroke recovery and rehabilitation: Current and emerging approaches. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2004; 4:31-35.
- Hesse S, Bertelt C, Jahnke MT, Schaffrin A, Baake P, Malezic M, *et al.* Treadmill training with partial body-weight support compared with physiotherapy in nonambulatory hemiparetic patients. *Stroke* 1995; 26:976-981.
- Miyai I. Locomotor training with partial body weight support in patients with Parkinson's disease and stroke: Its efficacy and neural mechanisms. *Geriatr Gerontol Int* 2004; 4:S205-S206.
- Moseley AM, Stark A, Cameron ID, Pollock A. Treadmill training and body weight support for walking after stroke. In: *The Cochrane Library* 2005; Oxford: Update Software.
- Peurala SH, Tarkka IM, Pitkänen K, Sivenius J. The effectiveness of body weight-supported gait training and floor walking in patients with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86:1557-1564.
- Serrien DJ, Strens LH, Cassidy MJ, Thompson AJ, Brown P. Functional significance of the ipsilateral hemisphere during movement of the affected hand after stroke. *Exp Neurol* 2004; 190(2):425-432.
- Liepert J, Graef S, Uhde I, Leidner O, Weiller C. Training-induced changes of motor cortex representations in stroke patients. *Acta Neurol Scand* 2000; 101(5):321-326.
- Van der Lee JH, Wagenaar RC, Lankhorst GJ, Vogelaar TW, Deville WL, Bouter LM. Forced use of the upper extremity in chronic stroke patients: results from a single-blind randomized clinical trial. *Stroke* 1999; 30:2369-2375.
- Winstein C, Rose D, Tan S, Lewthwaite R, Chui H, Azen S. A randomized controlled comparison of upper-extremity rehabilitation strategies in acute stroke: a pilot study of immediate and long-term outcomes. *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85:620-628.
- Patten C, Lexell J, Brown HE. Weakness and strength training in person with poststroke hemiplegia: Rationale, method and efficacy. *J Rehabil Res Dev* 2004; 41(3):193-312.
- Teixeira-Salmela LF, Olney SJ, Nadeau S, Brouwer B. Muscle strengthening and physical conditioning to reduce impairment and disability in chronic stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80:1211-1218.
- Badics E, Wittmann A, Rupp M, Stabauer B, Zifko UA. Systematic muscle building exercise in the rehabilitation of stroke patients. *Neurorehabil* 2002;17: 211-214.
- Nadeau SE. A paradigm shift in neurorehabilitation. *Lancet Neurol* 2002;1: 126-130.