



## Progettazione, prototipizzazione e test clinici di neuroprotesi per la riabilitazione di pazienti neurologici

### Design, prototyping and clinical trials of neuroprostheses for neuromotor rehabilitation of neurological patients

Lo scopo di questa attività di ricerca è lo sviluppo di neuroprotesi per sostituire funzioni perse in individui con lesioni neurologiche.

Una neuroprotesi è definita come un ausilio o un sistema basato sulla stimolazione elettrica funzionale (FES) usata per sostituire una funzione neurologica. Il concetto consiste nell'applicare correnti elettriche a tessuti eccitabili al fine di attivare i motoneuroni intatti usando elettrodi di superficie o impiantati. La condizione necessaria per l'utilizzo della stimolazione neuromuscolare è quella di avere i

#### Dipartimento di Bioingegneria

**Gruppo di ricerca** Giancarlo Ferrigno  
**Research group** Alessandra Pedrocchi  
Simona Ferrante

---

**Anno di avvio attività** 2001  
**Beginning of activity**

---

#### Cooperazioni nazionali e internazionali National and international collaboration

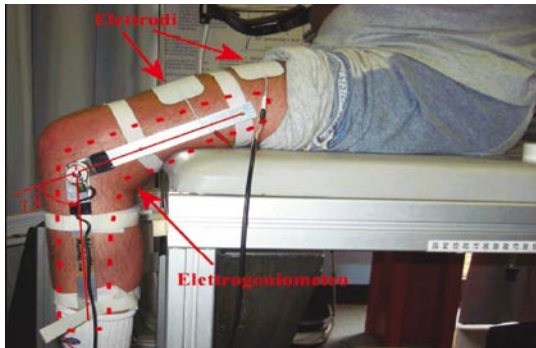
Villa Beretta, Ospedale Valduce, Como  
Associazione tra e per i medullosesi, Associazione Paraplegici Lombardia, Milano  
Reparto di Neurologia, Istituto Auxologico, Piacavallo (VB)  
Implanted device group University College London, UK  
Max Planck Institute, Magdeburg, Germania

---

Aim of this research activity is the development of neuroprostheses to supplement or replace a lost function in neurologically impaired individuals. A neuroprosthesis is defined as a functional electrical stimulation (FES) device or system used as a substitute for lost neurological function. The concept is to apply electrical current to excitable tissue in order to activate the intact lower motor neurons using implanted or superficial electrodes. Necessary condition for the use of neuromuscular electrical stimulation is to have intact lower motor neurons and

1.  
Apparato sperimentale per il movimento di flessione-estensione del ginocchio. Si osservano gli elettrodi di stimolazione e l'elettrogoniometro per la misura dell'angolo al ginocchio

Experimental setup for knee flex-extension FES induced movement. Stimulator electrodes and electrogoniometer are visible



motoneuroni a valle della lesione intatti e giunzioni neuromuscolari e muscoli sani, come succede in soggetti mielolesi, emiplegici con cerebral palsy e con sclerosi multipla.

Considerando l'impossibilità di recupero dei mielolesi, lo sforzo clinico è stato particolarmente diretto verso la riduzione della disabilità motoria per ripristinare un'indipendenza motoria, per recuperare un buon livello di autosufficienza e per migliorare la condizione clinica generale. Le tecniche tradizionali sono finalizzate al recupero di una soddisfacente qualità di vita tramite esercizi di riabilitazione e ginnastica passiva. Alcuni degli obiettivi riabilitativi sono l'aumento del tono muscolare, il miglioramento della circolazione periferica e cardiaca evitando la comparsa di piaghe da decubito e la prevenzione della rigidità articolare.

Nei pazienti emiplegici la neuroprotesi diventa anche terapeutica infatti potrebbe permettere l'apprendimento di nuove strategie motorie al sistema nervoso centrale sfruttando le capacità residue; è stato per questo proposto il termine di terapia elettrica funzionale (FET).

healthy neuromuscular junctions and muscles, as is usually the case with spinal cord injury (SCI), stroke, head injuries, cerebral palsy, and multiple sclerosis. Considering the impossibility of the SCI recovery, the clinical effort has been particularly directed towards the motor disability reduction in order to restore some motor independence, to recovery a good level of self sufficiency and to improve the general clinical condition. The traditional techniques are aimed at the recovery of a satisfactory quality of life with rehabilitation exercises and passive gymnastic. Some of the rehabilitation objectives are the increase of the muscular tone, the improvement of the peripheral and cardiac circulation avoiding the comparison of decubitus ulcers and the prevention of articular rigidity. In stroke patients the neuroprosthesis becomes also therapeutic in fact it would allow the learning of new motor strategies to the CNS exploiting the residual capacity; it was hence proposed the term functional electrical therapy (FET).

A major limitation of many FES applications is that muscles tend to fatigue very rapidly. Therefore one

2.  
Apparato sperimentale per  
l'esecuzione del movimento  
ciclico di pedalata  
Experimental setup for cycling



3.  
Apparato sperimentale per  
l'esecuzione del movimento di  
sollevamento da seduto. Questo  
dispositivo è utilizzato per il  
condizionamento muscolare  
Experimental setup for FES  
induced sit to stand movement  
used for patient muscular  
conditioning



In questa attività di ricerca l'attenzione è focalizzata su tre movimenti: la flessione estensione del ginocchio, l'alzata da seduto e ritorno e la pedalata. Le figure riportate mostrano i tre diversi setup sperimentali che sono stati sviluppati al NITLAB (Laboratorio di Neuroscienze e Information Technology), un laboratorio del TBMLAB (Laboratorio di Tecnologie Biomediche).

Gli obiettivi riabilitativi raggiunti attraverso le neuroprotesi sviluppate variano nei tre diversi movimenti. Nella flessione estensione del ginocchio reti neurali artificiali sono usate per ritardare la comparsa del fenomeno dell'affaticamento muscolare; nello standing up sitting down lo scopo è la produzione di un movimento accurato e dolce; nella pedalata la strategia di stimolazione opportunamente ottimizzata produce movimenti prolungati per migliorare le condizioni cliniche globali.

Per quanto riguarda il movimento della pedalata, che è il task motorio più riabilitativo, il gruppo di ricerca si è potuto avvalere della collaborazione del Prof. Nick Donaldson che è il responsabile dell' Implanted Device Group della University College of London e

of the most difficult and appealing improvement in FES research is the development of control systems aiming at coping properly with the occurrence of fatigue and optimizing the performance in order to enhance clinical benefits.

In this research activity the attention is focused on three movements: knee flex-extension, standing up/sitting down and cycling. The reported pictures show the three different experimental setups developed at NITLAB (Neurosciences and Information Technology Laboratory) a laboratory of the TBMLAB (Biomedical Technologies Laboratory). The rehabilitation objectives achieved through the developed neuroprostheses are variable within the three motor tasks. In the knee flex extension movement artificial neural networks are used to delay the occurrence of fatigue; in standing up sitting down the aim is the production of accurate and smooth movements; in cycling, the designed strategy produces prolonged movements to improve global clinical conditions.

Concerning cycling movement, which is the most rehabilitative movement, our research group is

dell'Ing. Thomas Schauer che lavora al Max Planck Institute di Magdeburg. Tali collaborazioni hanno permesso di produrre strategie di stimolazione ottimizzate per la pedalata indotta dalla FES.

Un importante problema da affrontare quando si è sviluppata una neuroprotesi è quello di capire come trasferire il tutto dall'ambiente di laboratorio alla clinica. Questo richiede di includere le tecnologie sviluppate e i sistemi di controllo implementati in ausili commerciali, economicamente competitivi e, allo stesso tempo, facili da usare in clinica.

La collaborazione con l'ospedale Valduce di Como, che è all'avanguardia nel settore della riabilitazione, offre la possibilità di avere una valutazione clinica dell'efficacia della neuroprotesi sui pazienti.

Per questo sono stati sviluppati protocolli di riabilitazione ed è stata attivata una campagna sperimentale sui pazienti, che ha fatto già emergere i primi interessanti risultati.

working in collaboration with Prof. Nick Donaldson who is the head of the Implanted Device Group of the University College of London and with Dr. Thomas Schauer who works at the Max Planck Institute in Magdeburg. Within these collaboration the group succeeded in producing an optimized stimulation strategy for FES cycling.

An important problem to face when the neuroprosthesis is developed is how to transfer everything from the laboratory environments to the clinic. This requires to include the developed technologies and control systems in commercial devices, economically competitive and at the same time easy to use in these environments.

The collaboration with the Hospital Valduce Villa Beretta, which leads the way in the rehabilitation field, offers the possibility to have a clinical evaluation of the efficacy of FES neuroprostheses on patients. Therefore rehabilitation protocols specific for the patients have been designed, an experimental campaign on patients has just started and the first promising results are already noticeable.