



Doctoral Thesis

Muscular synergies in the human hand

Author(s):

Hüsler, Erhard J.

Publication Date:

2001

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004118595> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH Nr. 13965

Muscular Synergies in the Human Hand

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Erhard J. Hüsler

dipl. Ing. ETH

geboren am 3. Dezember 1966

von Zürich

Angenommen auf Antrag von:

Prof. G. Schweitzer

Frau Prof. M.-C. Hepp-Reymond

1 Kurzfassung

Aus der Perspektive eines Ingenieurs stellt die menschliche Hand mit ihrer Vielseitigkeit ein kleines Wunderwerk der Natur dar. Alle bisherigen Versuche, die Morphologie und Physiologie der Hand zu imitieren, führten zu aufwändigen technischen Konstrukten, die auch nicht annäherungsweise die Geschmeidigkeit und Beweglichkeit einer menschlichen Hand nachzuahmen vermochten. Das Ziel dieser Studie war es, Prinzipien zu finden, mit denen diese Geschmeidigkeit und Beweglichkeit erreicht werden. Das "Substrat" war die menschliche Hand selbst. Mittels elektronischer Signalverarbeitung versuchten wir Hinweise auf synergistische Muskelaktivität aus Elektromyogrammen herauszufiltern. Die Hypothese war, dass durch das Koppeln von mehreren Effektoren - Muskeln, Muskel-Kompartimenten oder motorische Einheiten - die biomechanische Überbestimmtheit der Hand gelöst und somit diese Redundanzen aufgabenspezifisch angewandt würden.

Im Detail suchten wir zu erst nach synergistischer Muskelaktivität, welche aktiv bei der Ausübung von isometrischen Kräften zwischen Daumen und Zeigefinger (Präzisionsgriff) eingesetzt wird. Die Versuchspersonen mussten unterschiedlich stark auf einen Kraftsensor drücken, während die elektrische Aktivität von insgesamt vierzehn Muskeln der Hand gemessen wurde. Diese Elektromyogramme wurden dann in die Potentiale der einzelnen motorischen Einheiten zerlegt. Deren Auftretenszeiten wurden sodann mit der jeweiligen ausgeübten Kraft und der Auftretenszeiten anderer simultan gemessener motorischen Einheiten korreliert. Dadurch konnten wir die Kraft einer Einzelzuckung einer motorischen Einheit, sowie deren Synchronisation mit anderen Einheiten beschreiben. Basierend auf diesen Korrelationen, versuchten wir die Vorhersagen unserer Hypothese zu stützen. Des weiteren untersuchten wir den Einfluss des motorischen Cortex auf die Synchronisation mittels trans-cranialer magnetischen Stimulation. Wir haben unter verschiedenen experimentellen Bedingungen - verschiedene Kraftstufen, Kraft- und Aktivität-Feedback, Kraftzunahme und -abnahme, Präzisions- und 'Power'-griff, mit und ohne Cortexstimulation - unterschiedlich stark synchronisierte motorische Einheiten gefunden und versucht, diese Unterschiede plausibel zu begründen. So dann diskutieren wir mögliche Ursprungsorte für Muskelsynchronisation und die Relevanz der Muskelsynergien in der menschlichen

Hand. Mögliche neue Ansätze für Roboterhände und Handprothesen werden zum Schluss aufgezeigt.

2 Abstract

From an engineer's point of view the human hand and its versatility is a miracle of nature. Any attempts to technically mimic the morphology and physiology of the human hand have resulted in rather bulky constructs that cannot nearly match the suppleness and versatility with which any human being can apply his or her hands to a certain task. The goal of this study was to find rules that govern this suppleness and versatility. The "substrate" of the study was the human hand itself and by electronic signal processing we tried to find indications in the electromyograms for synergistic motor activity. The hypothesis was that the problem of excess degrees of freedom in the hand is resolved by the coupling of agents - muscles, muscle compartments or motor units - and that these coupled agents are controlled as one entity. Furthermore, we attempted to find varying levels of synergistic activation under varying experimental conditions and tasks.

More specific, we determined whether synergistic muscle activation is present and active during grip force application between the tips of thumb and index finger (precision grip). Subjects were asked to perform a visuo-motor step tracking paradigm exerting isometric grip force at predefined levels, while the electrical activity of totally fourteen different hand and forearm muscles was recorded. The electromyographic activity of these muscles was then decomposed into the constituting potentials of single motor units. The occurrence of these motor units was related to the applied grip force and the simultaneous occurrence of other units to describe twitch force and synchronisation of motor units. From these correlations, we attempted to bolster the predictions made in the hypothesis that motor units are activated synergistically. Furthermore, we directly determined the influence of the cortex on the synchronisation of motor units by applying trans-cranial magnetic stimuli to the contralateral motor cortex of our subjects during the performance of the motor task. We found synchronisation under the various experimental conditions - different force levels, increase and decrease of force, force and motor unit activity feedback, precision and power grip, with and without stimulation - to various degrees. Possible origins of motor unit synchronisation and the relevance of motor synergies are discussed with a more global view on the motor control of the human hand. Finally, new approaches to the design of robot hands and their controls are proposed.