



Available online at
SciVerse ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com

Annals of Physical and Rehabilitation Medicine 55 (2012) 279–291

ANNALS
 OF PHYSICAL
 AND REHABILITATION MEDICINE

Literature review/Revue de la littérature

Isokinetic muscle strengthening after acquired cerebral damage: A literature review

*Renforcement musculaire isocinétique après hémiplégié par lésion cérébrale :
 revue de la littérature*

N. Hammami^{a,b}, F.O. Coroian^{a,c}, M. Julia^{a,c}, M. Amri^b, D. Mottet^a, C. Hérisson^{a,c}, I. Laffont^{a,c,*}

^a *Movement to Health (M2H), Montpellier-1 University EuroMov, 700, avenue du Pic-Saint-Loup, 34090 Montpellier, France*

^b *Université de Tunis El Manar, faculté des Sciences de Tunis, 00/UR/08-01, campus universitaire, 2092 El Manar Tunis, Tunisia*

^c *Centre hospitalier régional universitaire de Montpellier, département de médecine physique et de réadaptation, hôpital Lapeyronie, 371, avenue du Doyen-Gaston-Giraud, 34295 Montpellier cedex 5, France*

Received 1 September 2011; accepted 2 March 2012

Abstract

Objective. – Isokinetic strengthening is a rehabilitation technique rarely used in stroke patients. However, the potential benefits of force and endurance training in this population are strongly suspected.

Method. – This literature review synthesizes the results of clinical trials on this topic. The research was conducted on PubMed, using “Stroke”, “rehabilitation”, “isokinetic”, “upper limb” and “training” as keywords.

Results. – Seventeen studies focusing on the use of isokinetics in assessment or rehabilitation (six studies) following stroke were reviewed. For the lower limb, muscle strength and walking ability improved after isokinetic rehabilitation programs. For the upper limb, the only two studies found in the literature suggest improvement in the strength of the trained muscles, of grip force, of the Fugl-Meyer motor score and of global functional capacities. This review does not reveal any consensus on the protocols to be implemented: type of muscle contraction, velocities. . .

Conclusion. – While isokinetic strengthening has not proven its efficiency in rehabilitation of the upper limb following stroke, its interest with regard to rehabilitation of the lower limbs has been recognized. Randomized controlled trials in this field are necessary to confirm its efficiency, especially concerning upper arm rehabilitation.

© 2012 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Hemiplegia; Isokinetic strengthening; Motor ability; Upper limb; Lower Limb

Résumé

Objectif. – Le renforcement musculaire isocinétique (RMI) est une technique de rééducation peu utilisée dans la rééducation du patient hémiplégié. Le bénéfice potentiel du travail de la force ou de l’endurance dans cette population est pourtant fortement suspecté.

Méthode. – Cette revue de la littérature synthétise l’essentiel des études cliniques sur le sujet. La recherche a été effectuée sur PubMed à partir des mots clés *stroke*, *rehabilitation*, *isokinetic*, *upper limb* et *training*.

Résultats. – Dix-sept études utilisant l’outil isocinétique dans l’évaluation ou la rééducation (six études) après AVC ont été revues. Pour le membre inférieur, la force musculaire et les capacités de marche augmentent après avoir suivi un programme de RMI. Pour le membre supérieur, les deux études retrouvées suggèrent une amélioration de la force des groupes musculaires entraînés et de la force de préhension, du score moteur de Fugl-Meyer et des capacités fonctionnelles globales. Cette revue de la littérature ne permet pas de dégager un consensus quant aux protocoles à mettre en œuvre : type de contraction musculaire, vitesses. . .

Conclusion. – Le RMI n’a pas fait la preuve de son efficacité dans la rééducation du membre supérieur après AVC, bien que son intérêt soit suspecté. Son intérêt est admis dans la rééducation des membres inférieurs.

© 2012 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Hémiplégié ; Renforcement isocinétique ; Motricité ; Membre supérieur ; Membre inférieur

* Corresponding author. Tel.: +04 67 33 87 17.

E-mail address: i-laffont@chu-montpellier.fr (I. Laffont).

1. English Version

1.1. Introduction

Stroke is the first cause of adults' acquired handicap in Western countries [40]. Vascular cerebral accidents lead to cognitive and/or sensorimotor sequels in more than one third of the patients. Upper limb deficiency is the most frequently encountered sensorimotor sequel. While close to four fifths of stroke survivors learn to walk once again [12], only one third recover their ability to functionally use their upper limb (from 18% in severe strokes to 79% in minor ones) [3,39]. The restoration of motor capacities in this population relies on interlinked mechanisms of neurological recovery, adaptation and compensation [17]. The concepts underlying our rehabilitation practices dramatically improved over the past 20 years [26,42], as knowledge on brain neurophysiology and on the mechanisms of brain flexibility, now known as "neuroplasticity", improved. Today's rehabilitation programs carry out intense and highly repetitive exercises over a time that often exceeds three months subsequent to a stroke.

The interest of "task-oriented" rehabilitation has been demonstrated and its basic principle has been implemented in numerous programs, including: constraint induced therapy [26,36,40], body-weight support training, robotized rehabilitation [7,10,18,19,36,39], functional electrostimulation (FES) [30]. . . In a similar way, new concepts based on experimental neurosciences have led to innovative programs based, for instance, on the theory of mirror neurons (rehabilitation with "mental imagery", "mirror-based therapy"...) or on the notion of "inter-hemispheric balance" (bimanual rehabilitation).

As part of these new rehabilitation techniques, and while muscle strengthening techniques in stroke rehabilitation used to be largely decried, methods consisting in strength and endurance training are now part of the programs regularly offered to patients after damage of the central nervous system [7,29]. Indeed, it is widely known that the strength deficit following stroke significantly contributes to functional limitations, both with regard to the upper and the lower limb [1,2]. Morris et al. [22] and Ramas et al. [31] recently published two interesting literature reviews pertaining to the interest of muscle reinforcement in rehabilitation of stroke patients, whatever the strengthening technique employed. In the articles mentioned by these authors, the methods employed include both manual and instrument-assisted muscle strengthening techniques. The protocols generally involved only a limited number of repetitions [22] (lower than 9), at approximately 60% of the theoretical muscle strength, over a period ranging from four to 12 weeks, with two to five sessions a week. Reported results are encouraging in terms of both strength level of the trained muscles and function, but heterogeneity of the studies precludes elaboration of precise recommendations on how to concretely implement such programs.

Isokinetic muscle strengthening (IMS) has been widely used for many years in rehabilitation after musculoskeletal lesions [11] and consequently represents a potentially interesting

technique of rehabilitation with regard to central nervous system damage.

The objective of this work is to review existing literature on the use of IMS in rehabilitation of hemiparetic patients, in order to directly apply it in current clinical use, particularly with regard to the upper limb.

1.2. Materials and methods

Our research was conducted with MEDLINE, using the following English-language keywords in combination with each other: "stroke", "rehabilitation", "isokinetic", "upper limb" and "training". Sixty-eight articles were found. Only the studies mentioning use of IMS for stroke rehabilitation were selected (17 studies), and no distinction was made between its application to the lower or the upper limbs. We did not keep works simply proposing isokineticism as a tool for assessing muscle strength of paretic limbs (nine articles), nor did we keep studies mentioning IMS as one among other techniques of rehabilitation (three articles), since they did not address the question of the interest of IMS as such.

Finally, we selected only six studies dealing with isokinetic rehabilitation IMS in hemiparetic patients. Three readers were involved in this review and applied the reading method drawn from the reading template of the French national health authority (Haute Autorité de santé).

1.3. General considerations on isokineticism

Isokinetic dynamometers may be used as instrumental muscle strength assessment devices or as muscle strengthening tools. Indeed, constant technological advances over the past 15 years facilitated the development of highly effective dynamometers usable for assessment and/or rehabilitation of most joints in upper and lower limb. These devices are regularly used in osteo-articular disorders or in the framework of sports training programs.

In the lower limb, muscular groups most often involved in assessment and/or isokinetic strengthening are knee muscles and, to a lesser extent, peri-articular muscles of the ankle. In the upper limb, rotators and abductors of the shoulder are generally involved, as are, to a markedly lesser extent, peri-articular muscles of the elbow.

Most of the isokinetic machines used in pathology are rotating dynamometers. Results of an isokinetic assessment are generally expressed as the peak torque value developed by the tested muscle group. It is also possible to evaluate the work provided by the same muscle group and the power developed at the joint.

Assessment and isokinetic strengthening protocols are generally described in terms of mode of muscle contraction (concentric or eccentric), value of imposed angular velocity, and number of repetitions. The choice of the working protocol depends on the subject and on the required objectives, as well for the upper and for the lower limb.

The concentric mode is the most widely employed because it is easy to use and well tolerated. The eccentric mode has been

less regularly proposed, because this mode of contraction is difficult for patients, and may lead to musculo-tendinous micro-injuries (especially aches or delayed onset muscle soreness: [DOMS]), which are more frequent than in concentric work. Moreover, interpretation of values obtained in eccentric mode is largely discussed [14]. On the other side, some consider eccentric muscular contraction to be closer than the concentric mode to normal muscle physiology: indeed, eccentric contraction may be observed in many activities of daily life (fight against gravity or against inertia), often in combination with the concentric mode (“plyometric” contraction).

The choice of the working speed determines the level of strength that the muscle is supposed to produce. In the coupling that is characteristic of the concentric mode, strength and speed are inversely related: the higher the speed, the less the muscle develops strength. In the eccentric mode, this relation is reversed. Consequently, training that aims at increasing strength is carried out at low speed, while exercises at high speed demand more muscle power. It should also be noted that slow speeds engender more joint stress but are closer to normal muscle physiology. More generally speaking, the choice of speed depends on both the objectives of the training program and on the function of the to-be-trained muscle group. Isokinetic speeds usually proposed for the concentric mode range from 0 to 300°/s. Distinctions are made between low speeds (from 0° to 100°/s), medium speeds (from 100 to 200°/s) and high speeds (from 200 to 300°/s). The speeds suggested for the eccentric mode are generally lower, practically never exceeding 150°/s (only for some apparatus models).

Due to the fatigue induced in trained muscles, the number of repetitions for low speeds generally does not exceed five. For higher speeds, the number of repetitions varies from five to ten. Stress tests, also called endurance tests, are frequently carried out at high speed (180°/s minimum), and the number of repetitions may reach 50 [33]. Once again, however, exercise speed in stress tests depends both on the muscle group being tested and on the kind of patients concerned by the exercise [23]. In sport training programs, the number of repetitions may rise or fall, depending on the goal of the session [33].

1.4. Results

1.4.1. The interest of isokinetic muscle strengthening in rehabilitation after stroke

1.4.1.1. *Isokinetic muscle strengthening for the lower limb of the hemiplegic patient.* Publications mentioning IMS use in rehabilitation of hemiplegic patient’s lower limb are very sparse. We have identified four pertinent studies, which main results are summarized in Table 1. Among these studies, only a single controlled randomized trial has been found [15].

The four publications deal with the strengthening of the peri-articular muscles of the knee, quadriceps and hamstrings. Only Kim et al. [15] mention association of isokinetic work on the peri-articular muscles of the ankle and hip.

From an overall standpoint, increased strength of the reinforced muscle groups has been reported by all authors. Increase in muscle strength was quite largely variable, ranging

from 17 to 54% of basic numerical values, reaching 155% for some muscles as mentioned in the work by Kim et al. [15]. Among the four studies, increased segmental strength was accompanied by a functional benefit, as evaluated in terms of walking performance, ability to climb stairs and, for two authors [15,35], with regard to more general functional indexes (Table 1).

Moreover, Kim et al. [15] tried to compare the isokinetic strengthening technique (ten patients) with a “placebo” technique consisting in passive mobilization of the limb on an isokinetic machine (ten patients). The authors did not demonstrate any significant difference between the two groups of patients as regards to enhanced strength or functional improvement. Numerous methodological limits of this study — small population sample, heterogeneity of the population — require careful interpretation of its results.

Reported side effects are rare and limited to muscle aches. Rouleaud et al. [34] and Sharp et al. [35] assessed spasticity of strengthened muscles before and after the program: they did not mention any increase in its value.

1.4.1.2. *Isokinetic muscle strengthening for the upper limb of the hemiplegic patient.* To our knowledge, only two publications have dealt with IMS use in rehabilitation of a patient’s upper limb after a stroke. These two works are summarized in Table 2. It should be noted that the study by Chang et al. [3] is an open study in which a non-rotating, non-commercialized dynamometer was used as an IMS apparatus; what is more, the work carried out was bimanual, a factor that may constitute a confounding bias when interpreting the results. The study by Patten et al. [28] is a simple clinical case.

1.4.2. Proposed Isokinetic muscle strengthening protocols

1.4.2.1. *Installation of patients.* Installation of patients for work with the lower limbs doesn’t differ from the mode of installation generally applied in cases of osteo-articular diseases and for sports training.

Concerning the upper limb, the installation described by Chang et al. [3] is strongly constrained by the employed apparatus (non-rotating dynamometer): patient seated, arm along the torso and elbows bent at 90°. Required movements consist in flexion/extension of the shoulder combined with extension/flexion of the elbow in the sagittal plane. In Patten’s case report, a rotating dynamometer is used [28]. The patient is in a seated position with the back of the chair slightly backwards tilted. Abduction/adduction shoulder movements are carried out along the plane of the scapula, with a splint keeping the elbow in extension. Flexion/extension shoulder movements are carried out on the sagittal plane, with the elbow once again kept in extension. Finally, elbow flexion/extension is carried out on the horizontal plane, the forearm resting on a support placed at the lower level of its distal third. In the two studies, weak grip of patients requires fixation of the hand on the distal effector with an elastic bandage.

1.4.2.2. *Reproducibility of isokinetic measurements in stroke patients.* Clark et al. [4] focused on the reproducibility of

Table 1
Main results of four studies on isokinetic muscle strengthening use in rehabilitation programs for the lower limb after stroke.

Authors	Patients	Joint(s)	Results
Engardt and al. 1995 [10]	20 patients > 12 months post stroke 1 eccentric training group (10) 1 concentric training group (10)	Knee	Improved peak torque in the two groups of patients (S), but more pronounced in the eccentric training group Symmetrized body weight distribution during a sitting to standing transfer, but only in the eccentric training group (S) Improved walking speed (S), identical in the two groups
Sharp and al. 1997 [32]	15 patients > 6 months post stroke Open study	Knee	Improved peak torque in the strengthened muscles (S) Improved walking speed, (S) No improvement in stair climbing or in the Time Up and Go Test Improvement in the general functional capacities (S) assessed by the “Human Activity Profile” (HAP) No spasticity aggravation in the Pendulum Test (S)
Rouleaud and al. 2000 [31]	10 patients > 6 months post stroke Open study	Knee	Improved peak torque, work and muscle power for the trained muscles (S) Improvement of the Motricity Index (NS) from 68.6/100 to 73.6/100 Higher walking speed (S) Higher speed in climbing stairs (NS) Subjective improvement felt by patients No spasticity aggravation on the Ashworth scale
Kim and al. 2001 [15]	20 patients >6 months post-stroke Controlled randomized trial	Knee, hip and ankle	Improved muscle strength and walking speed in the two groups (S) No significant difference between the two groups of patients No improvement in the quality of life score in the two groups (SF36)

S: statistically significant value.

Table 2
Main results of the two studies on isokinetic muscle strengthening use in reeducation of the upper limb of hemiparetic patients.

Authors	Patients	Design	Joint(s)	Results
Patten and al. [25]	A female patient 16 weeks after an ischemic stroke	Case Report	Shoulder Elbow	Enhanced strength in the elbow and shoulder muscle groups improvement in the Fugl-Meyer Assessment score No spasticity aggravation(Ashworth score) Improvement in the functional capacities: Wolf Motor Function Test, Functional Ability Scale, Functional Independence Measure
Chang and al. [3]	20 patients > 6 months post-stroke Bimanual work Non-rotating isokinetic dynamometer	Open study	Shoulder Elbow	Increased grip strength, increased push and pull strength of the upper limb (S) Increased Fugl Meyer score (S) Improvement in kinematic characteristics of prehension movements (S) No improvement in grasping capacities (Frenchay Arm Test) No spasticity aggravation (Ashworth score)

isokinetic measurements applied to the lower limbs in stroke patients. The authors analyzed quadriceps force measures obtained at speeds ranging from 30°/sec to 240°/s in the concentric mode and from 30°/s to 180°/s in the eccentric mode in a group of 17 chronic hemiparetic patients. They showed that the reproducibility of their results was comparable to the reproducibility attained in a group of control subjects. Similar results were reported by Tripp et al. [38] in a population of 20 hemiparetic patients and by Noorizadeh et al. [25] in a group of 30 subjects. Conversely, Hsu et al. [13] studied the reproducibility of measurements of peak torque, work and power of the hip flexors, the knee extensors and the ankle plantar flexors in a population of 9 hemiparetic patients evaluated twice, one week after the next. These authors showed that measurement reproducibility varied in accordance with the selected speed and the muscle group being tested. To our knowledge, isokinetic measurement reproducibility of upper

arm muscles' strength has not been studied in hemiparetic patients.

1.4.2.3. Isokinetic muscle strengthening rehabilitation protocols for the lower limbs. Generally speaking, proposed speeds for strengthening programs in published studies vary between low (30°/s and 60°/s) and medium ones (120°/s and 180°/s). Both concentric and eccentric contractions are used. A one-minute recovery interval between series is described in all studies. The number of repetitions varies, with programs of up to 15 series not exceeding ten contractions within each.

Only the study by Engardt et al. [9] provided comparison of two modes of isokinetic strengthening, concentric and eccentric one. Results reported by the authors suggest that, in spite of greater difficulty in implementation, work in the eccentric mode seems to be more effective.

Table 3
 Protocols for isokinetic muscle strengthening of the lower limb, as proposed in the four studies found in the literature.

Authors	Joint(s)	Used apparatus	Angular velocities	Mode of contraction	Mouvements	Protocol
Rouleaud and al. 2000 [31]	Knee Healthy side and paretic side	Biodex	60°/s, 120°/s and 150°/s	Eccentric	Flexion-extension	6 weeks 3 times/week 9 series averaging 10 repetitions (pyramidal training) 1 min of recovery/series
Engardt and al. 1995 [10]	Knee Paretic side	Kin-Com	60°/s, 120°/s and 180°/s	Eccentric (10 patients) Concentric (10 patients)	Flexion-extension	6 weeks 2 times/week Maximum of 15 series of 10 repetitions (pyramidal training) 1 min of recovery/series
Sharp and al. 1997 [32]	Knee Paretic side	Cybox II	30°/s, 60°/s and 120°/s	Concentric	Flexion-extension	6 weeks 3 times/week 40 min/session -9 series of 6 to 8 repetitions (3 series for each selected speed) 1 min of recovery/series
Kim and al. 2001 [15]	Knee, Hip and Ankle Healthy side and paretic side	Kin-Com	60°/s	Concentric	Flexion-extension at the three joints	6 weeks 3 times/week 45 min/session 3 series de 10 repetitions by joint 1 min of recovery/series

None of the identified studies provided comparison of the results recorded at different speeds.

The different protocols identified in the literature are summarized in Table 3.

1.4.2.4. Isokinetic muscle strengthening rehabilitation protocols for the upper limbs. Concerning the upper arm, the few studies found in the literature deal only with muscular strengthening in the shoulder or in the elbow. To our knowledge, no published work takes up IMS of the wrist and/or finger muscles in stroke patients. The protocols used are summarized in Table 4. The concentric and the eccentric modes of contraction have both been used, at low to medium speeds (30 to 120°/s). The choices of number of weekly sessions

(three), their duration (40 to 45 minutes), the number of series (three) and the number of repetitions by series (ten to 20) have drawn their inspiration from the protocols applied in IMS of the lower limbs.

1.5. Discussion

The few studies we found on the topic do not present sufficient methodological qualities, which would allow us to claim positive effects of IMS when this form of strengthening is used in rehabilitation of stroke patients. In order to confirm its interest and, more particularly, to demonstrate its superiority in comparison with other already validated rehabilitation methods, randomized controlled trials would be necessary.

Table 4
 Protocols for isokinetic muscle strengthening of the upper limb, as proposed in the two studies dealing with the topic found in the literature.

Authors	Joint(s)	Used apparatus	Angular velocity	Contraction mode	Mouvements	Protocol
Patten and al. [25]	Shoulder Elbow	Biodex	30 to 75°/s (increased by 15°/s every 2 weeks) 30 à 90°/s (increased by 30°/s every 2 weeks) 60 à 120°/s (increased by 30°/s every 2 weeks)	Eccentric Concentric 1 Concentric 2	Flexion-extension + abduction-adduction + outer-inner rotation/paretic limb Flexion-extension (horizontal plan)/ paretic limb	6 weeks 3 times/week 35 min/session (+40 min conventional rehabilitation) 3 series of 10 repetitions
Chang and al. [3]	Shoulder Elbow	BFIAMT: Bilateral Force-Induced isokinetic Arm Movement Trainer	Non-rotating dynamometer	Isokinetic	Global movements of “push” and “pull” on the handles of the dynamometer	8 weeks 3 times/week 40 min/session (+10 min conventional rehabilitation) 3 series of 20 repetitions 5 min of recovery

Anyway, in a general manner, the interest of muscle strengthening in rehabilitation after stroke is likely to exist [1,2]. Since IMS is just a different way to conduct muscle strengthening, one may consider this kind of rehabilitation to be effective like other strengthening programs.

There is no scientific evidence that IMS is of more interest than other muscle strengthening methods, especially in neurological patients. Concerning athletes, Croisier et al. [6] suggest that the development of a maximal moment of force over the whole range of amplitude of movement may be of interest in muscle physiology, sustaining the superiority of isokinetic reinforcement compared to conventional one. Moreover, most of the authors [6,32] consider that the main interest of IMS, when compared with other muscle strengthening methods, consists in the following: reproducibility of exercises, accuracy in scheduling and building contents of work sessions, adherence to the program facilitated by the visual and/or auditory feedback provided by the machine in real time, easy monitoring of patient performance. This argumentation can be applied to patients.

When elaborating an IMS protocol for a stroke patient, the choice of a concentric or eccentric operating mode should be discussed in light of the previous published works on the topic. While the concentric mode has been more frequently used, some points suggest the interest of the eccentric mode, notwithstanding the above-mentioned difficulty in implementation:

- eccentric muscular contraction exercise is known to be highly efficacious with regard to muscle strengthening not only in athletes [9,21], but also in patients after a stroke [29];
- for Rouleaud et al. [34], eccentric exercises appear to be well-tolerated in hemiplegic patients since they require a lesser degree of energy expenditure;
- rapid concentric movements stretch the antagonist muscles and for some patients, this stretching could theoretically enhance spasticity. Eccentric exercises could avoid this phenomenon [5,34].

None of the identified studies mention application of the “continuous passive mobilization” (CPM) mode in stroke patients. CPM is a variant of isokinetic exercise. In the CPM mode, movement is carried out at constant speed by the machine, whatever the patient is able to develop as muscle couple of force. The patient may produce either concentric contraction (in the same direction as the movement induced by the dynamometer) or eccentric contraction (braking force of the movement induced by the dynamometer) [8]. CPM is suspected to be an interesting way to assess muscles’ strength in weak patients suffering from neuromuscular diseases [20], for example when severity of the neurological deficit does not allow them to move the limb against gravity.

Its potential interest could be summarized as follow:

- whatever the patient’s degree of fatigue, the addition of CPM ensures that the movement will be carried out through a full range of motion, even when the torque produced by the person is quite weak;

- the “guiding” of the movement by the machine may facilitate the achievement of the task in a context where sensory or cognitive disorders could render isokinetic training difficult.

The theoretical risk of enhanced spasticity during muscle strengthening after central nervous system damage has been widely discussed in the literature. Most authors mentioned in this review took this point into consideration [3,28,34,35]. On the basis of these preliminary results, it is possible to claim that, when applied following central neurological injury, IMS does not aggravate spasticity. On the other hand, the existence of high spastic hypertonia with an Ashworth score greater than 3/5 may limit the use of the technique because installation of patients may be compromised. To our knowledge, this point has not been evaluated previously in the literature.

The paucity of literature focusing on IMS use in the treatment of the paretic upper limb following a stroke may be explained in several ways:

- frequency of complete upper limb motor deficiency rendering use of the tool impossible [19];
- frequency of pain syndrome, particularly at the shoulder, rendering installation and strengthening work particularly difficult in this population [26];
- absence of consensual data on the muscle groups to be strengthened, including the literature dealing with IMS use in osteo-articular pathology [11];
- connection between strength gain and functional improvement still quite contestable at the level of the lower limb [15,35], but also at the level of the upper limb. While this question has been raised by several authors, the answer is not clear [1,2];
- lastly, “task-oriented rehabilitation techniques” have gradually assumed greater and greater importance in rehabilitation programs of the upper limb after vascular cerebral accident. These methods include not only conventional occupational therapy techniques [24,40], but also “constraint-induced therapy” [27,37,41]. Other emerging rehabilitation methods may be considered as “task-oriented”: “robotic rehabilitation” or “electro-mechanical assisted” rehabilitation [19], functional electro-stimulation [7,30], virtual reality or interactive video gaming rehabilitation [16]. The role of upper limb muscle strengthening in therapeutic strategies remains unclear: this method may usefully complement task-oriented rehabilitation techniques [3], but will not replace them [26,31,42].

1.6. Conclusion

Numerous arguments from the literature suggest the interest of IMS in rehabilitation of hemiplegic patients, particularly with regard to the lower limb. Indeed, the beneficial effects of IMS in rehabilitation of the hemiparetic lower limb need to be confirmed in further studies and its place in rehabilitation of the upper limb has to be clarified. The choice of IMS protocols needs to be carried out in light of the works cited above, and special attention should be paid to the CPM mode. Many

questions remain with regard to the interest and feasibility of eccentric exercises, especially for the upper limb. Lastly, the role of IMS to complement other rehabilitation methods for patients following a stroke should be taken into consideration.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest concerning this article.

2. French Version

2.1. Introduction

L'accident vasculaire cérébral (AVC) est la première cause de handicap acquis de l'adulte dans les pays occidentaux [40]. La survenue d'un AVC engendre des séquelles cognitives et/ou sensorimotrices pour plus d'un tiers des patients. Parmi les séquelles sensorimotrices, les déficiences du membre supérieur sont les plus couramment rencontrées et entraînent des limitations d'activité importantes. Environ quatre cinquième des personnes qui survivent à un AVC réapprennent à marcher [12], alors que seulement un tiers des patients récupèrent des capacités de préhension (de 18 % pour les AVC sévères à 79 % pour les AVC légers) [3,39].

La restauration des capacités motrices dans cette population est sous-tendue par des mécanismes intriqués de récupération neurologique, d'adaptation et de compensation [17]. Les concepts qui fondent nos pratiques rééducatives ont énormément évolué ces 20 dernières années [26,42], à la faveur de la progression de nos connaissances sur la neurophysiologie et sur les mécanismes de plasticité cérébrale. Les nouveaux programmes de rééducation intègrent la nécessité de réaliser des exercices intenses, avec un grand nombre de répétitions, sur des durées parfois prolongées bien au-delà des trois premiers mois post-AVC. L'intérêt de la « rééducation orientée vers la tâche » est démontré et son principe est mis en application dans de nombreux programmes, quelle que soit la technique utilisée : contrainte induite [26,36,40], travail de la marche en suspension, rééducation robotisée [7,10,18,19,36,39], stimulation électrique fonctionnelle (SEF) [30]. . . De la même façon, des concepts nouveaux issus des neurosciences expérimentales ont conduit à l'élaboration de programmes innovants basés par exemple sur la théorie des « neurones miroirs » (rééducation par imagerie mentale, thérapie en miroir. . .) ou sur la notion de « balance interhémisphérique » (rééducation bimanuelle). . .

Parmi ces nouvelles méthodes de rééducation, et alors que les techniques de renforcement musculaire ont été longtemps délaissées dans la rééducation de l'hémiplégique, l'entraînement en force ou en endurance fait maintenant partie des programmes régulièrement proposés à ces patients [7,29]. On sait en effet que le déficit de force après accident vasculaire cérébral concourt de façon importante à la limitation des capacités fonctionnelles, aussi bien au niveau du membre supérieur qu'au niveau du membre inférieur [1,2]. Morris et al. [22] et Ramas et al. [31] ont publié deux revues récentes de la littérature sur l'intérêt du renforcement musculaire dans la

rééducation du patient hémiplégique, quelle que soit la technique de renforcement utilisée. Dans les articles recensés par ces deux auteurs, les méthodes utilisées incluent des techniques manuelles ou instrumentales de renforcement musculaire. Les protocoles utilisés consistent généralement en un nombre faible de répétitions [22] (inférieur à 9), à environ 60 % de la force maximale théorique pour un même groupe musculaire, sur une période pouvant aller de quatre à 12 semaines, à raison de deux à cinq séances par semaine. Les résultats rapportés sont encourageants, aussi bien sur le niveau de force des muscles travaillés que sur la fonction, mais la diversité des études rapportées ne permet pas d'élaborer des recommandations précises quant à la façon de mettre en œuvre ces programmes.

Le renforcement musculaire isocinétique (RMI) est largement utilisé depuis de nombreuses années dans la rééducation des affections de l'appareil locomoteur [11] et constitue ainsi une technique potentiellement intéressante de rééducation dans les pathologies du système nerveux central.

L'objectif de ce travail est de proposer une revue de la littérature sur l'utilisation du renforcement musculaire isocinétique dans la rééducation du patient hémiplégique, en vue de son utilisation concrète dans cette population, en particulier au niveau du membre supérieur.

2.2. Matériels et méthodes

Nous avons utilisé pour notre recherche sur MEDLINE les mots clés suivants (en langue anglaise) : *stroke, rehabilitation, isokinetic, upper limb et training*, en combinant à chaque fois les mots entre eux. Soixante-huit articles ont été retrouvés. Seules les études mentionnant l'utilisation du RMI dans la rééducation de l'hémiplégique ont été retenues (17 études), sans faire la distinction entre son application sur le membre inférieur et le membre supérieur. Nous avons écarté les travaux qui ont proposé l'isocinétisme pour la simple évaluation de la force musculaire des membres parétiques (neuf articles), ainsi que ceux qui citaient le RMI parmi d'autres techniques de rééducation puisqu'ils ne permettaient pas de répondre à la question de l'intérêt de la technique de RMI en tant que telle (trois articles). Finalement, au terme de notre recherche, seules six études traitant de la rééducation par RMI chez les patients hémiplégiques ont été sélectionnées. Notre méthode d'analyse s'est inspirée de la grille de lecture de la Haute Autorité de santé et trois lecteurs ont été impliqués dans ce travail.

2.3. Généralité sur l'isocinétisme

Les dynamomètres isocinétiques peuvent être utilisés pour l'évaluation instrumentale de la force musculaire ou comme appareils de renforcement musculaire. Les évolutions technologiques constantes de ces 15 dernières années ont permis le développement de dynamomètres performants, permettant d'évaluer ou de rééduquer la majorité des grosses articulations des membres. Ces appareils sont régulièrement utilisés dans les affections ostéoarticulaires ou dans le cadre de protocoles d'entraînement sportif.

Au membre inférieur, les groupes musculaires les plus régulièrement concernés par l'évaluation et/ou le renforcement isocinétique sont les muscles périarticulaires de genou et, dans une moindre mesure, les muscles périarticulaires de la cheville. Au membre supérieur, sont généralement concernés les rotateurs et les abducteurs d'épaule, et de façon plus rare les muscles périarticulaires du coude.

La plupart des appareils d'isocinétisme utilisés en pathologie sont des dynamomètres rotatoires. Les résultats d'une évaluation isocinétique sont majoritairement exprimés par la valeur du pic de couple développé par le groupe musculaire considéré. Une évaluation du travail fourni, ainsi que de la puissance développée par l'articulation, sont également possibles.

Les protocoles d'évaluation ou de renforcement isocinétique se définissent par le mode de contraction musculaire (concentrique ou excentrique), la vitesse angulaire imposée au segment de membre et le nombre de répétitions. Le choix du protocole dépend des objectifs à atteindre et du sujet, aussi bien pour le membre supérieur que pour le membre inférieur.

Le travail en mode concentrique est le plus utilisé, parce que facile à mettre en œuvre et bien toléré. Le travail en mode excentrique est d'utilisation plus récente : il est difficile pour les patients et susceptible d'engendrer des microlésions musculotendineuses (notamment des courbatures ou *delayed onset muscle soreness* [DOMS]) plus fréquentes que le travail en mode concentrique. De plus, l'interprétation des valeurs obtenues est discutée [14]. Ce mode de contraction musculaire est pourtant considéré comme plus proche de la physiologie musculaire : il est présent dans un grand nombre d'activités de la vie quotidienne (lutte contre la pesanteur ou lutte contre l'inertie), souvent combiné au mode concentrique (contraction pliométrique).

Le choix de la vitesse de travail détermine le niveau de force que le muscle doit produire. Dans le mode concentrique, le couple de force et la vitesse sont liés par une relation inverse : plus la vitesse est élevée, moins le muscle développe de force. Cette relation s'inverse en mode excentrique. Ainsi, un entraînement ayant pour objectif un gain de force se fait plutôt à vitesse lente alors que les exercices à vitesse élevée sollicitent d'avantage la puissance musculaire. À noter que les vitesses lentes engendrent plus de contraintes articulaires, mais se rapprochent plus de la physiologie musculaire. D'une façon plus générale, le choix de la vitesse dépend à la fois des objectifs fixés et de la fonction des groupes musculaires entraînés. Les vitesses isocinétiques proposées en mode concentrique varient entre 0 et 300°/s. On différencie les vitesses lentes (de 0° à 100°/s), les vitesses moyennes (de 100 à 200°/s) et les vitesses rapides (de 200 à 300°/s). Les vitesses proposées en mode excentrique sont généralement plus faibles, ne dépassant pratiquement jamais 150°/s (pour quelques modèles d'appareil).

Le nombre de répétitions ne dépasse généralement pas cinq répétitions pour les vitesses lentes, à cause de la fatigue induite du muscle travaillé. Les chiffres varient entre cinq et dix répétitions pour les vitesses rapides. Les tests de fatigue, encore appelés tests d'endurance, sont souvent réalisés à vitesse rapide

(au minimum 180°/s) avec un nombre de répétitions pouvant aller jusqu'à 50 [33]. Mais là encore, la vitesse d'exercice dans les tests de fatigue dépend du groupe musculaire testé et de la population concernée [23]. En entraînement, le nombre de répétitions peut augmenter ou diminuer selon le but recherché [33].

2.4. Résultats

2.4.1. Intérêt du renforcement musculaire isocinétique dans la rééducation de l'hémiplégique

2.4.1.1. Renforcement musculaire isocinétique du membre inférieur de l'hémiplégique. Les publications faisant état de l'utilisation du RMI dans la rééducation du membre inférieur du patient hémiplégique sont très rares. Nous avons recensé quatre études dont les principaux résultats sont résumés dans le **Tableau 1**. Parmi ces études, un seul essai contrôlé randomisé a été retrouvé [15].

Ces quatre publications concernent le renforcement des muscles périarticulaires du genou, quadriceps et ischiojambiers. Seule l'équipe de Kim et al. [15] a proposé d'associer un travail isocinétique des muscles périarticulaires de la cheville et des muscles péri-articulaires de hanche.

Globalement, une augmentation de la force des groupes musculaires renforcés a été rapportée par tous les auteurs. Ce gain de force a été très diversement apprécié, allant de 17 à 54 % des valeurs de base [9,34,35], voire 155 % pour certains muscles dans le travail de Kim et al. [15]. Dans les quatre études, ce gain de force segmentaire s'est accompagné d'un bénéfice fonctionnel. Le bénéfice fonctionnel a été évalué sur les performances de marche, la capacité à monter des marches et, pour deux auteurs [15,35], sur des indices fonctionnels plus généraux (**Tableau 2**).

Seule l'étude de Kim et al. [15] a tenté de comparer la technique de renforcement isocinétique (dix patients) à une technique « placebo » de mobilisation passive du membre sur la machine isocinétique (dix patients). Ces auteurs n'ont pas mis en évidence de différence significative entre les deux groupes de sujets sur les valeurs de gain de force ou d'amélioration fonctionnelle. Les nombreuses limites méthodologiques de cette étude incitent à prendre en compte ces résultats avec précaution, en particulier le faible échantillon de leur population et l'hétérogénéité des patients inclus.

Les effets secondaires rapportés sont rares et se limitent à quelques douleurs musculaires. Rouleaud et al. [34] et Sharp et al. [35] ont évalué la spasticité des muscles renforcés avant et après le programme et n'ont pas mis en évidence de majoration de celle-ci.

2.4.1.2. Renforcement musculaire isocinétique du membre supérieur de l'hémiplégique. À notre connaissance, seules deux publications se sont intéressées à l'utilisation du RMI dans la rééducation du membre supérieur de l'hémiplégique après accident vasculaire cérébral. Ces deux études sont résumées dans le **Tableau 2**. On note que l'étude de Chang et al. [3] est une étude ouverte, utilisant comme appareil de RMI un dynamomètre non rotatoire non commercialisé, et que le travail

Tableau 1

Principaux résultats des quatre études portant sur l'utilisation du renforcement musculaire isocinétique dans la rééducation des membres inférieurs du patient hémiparétique.

Auteurs	Patients	Articulation(s)	Résultats
Engardt et al., 1995 [10]	20 patients > 12 mois post AVC 1 groupe travail excentrique (10) 1 groupe travail concentrique (10)	Genou	Amélioration du pic de couple dans les deux groupes de patients (S), plus importante dans le groupe ayant travaillé en excentrique Symétrisation de la distribution du poids du corps lors d'un transfert assis debout, uniquement dans le groupe ayant travaillé en excentrique (S) Amélioration de la vitesse de marche (S), identique dans les deux groupes
Sharp et al., 1997 [32]	15 patients > 6 mois post AVC Etude ouverte	Genou	Amélioration du pic de couple des muscles renforcés (S) Amélioration de la vitesse de marche (S) Pas d'amélioration de la montée des escaliers ni du Time Up and Go Test Amélioration des capacités fonctionnelles globales (S) évaluées sur le Human Activity Profile (HAP) Pas de majoration de la spasticité au Pendulum Test (S)
Rouleaud et al., 2000 [31]	10 patients > 6 mois post AVC Étude ouverte	Genou	Amélioration du pic de couple, du travail et de la puissance musculaire, sur les muscles travaillés (S) Amélioration du Motricity Index (NS) de 68,6/100 à 73,6/100 Augmentation de la vitesse de marche (S) Augmentation de la vitesse de montée des escaliers (NS) Amélioration subjective ressentie par les patients Pas de majoration de la spasticité au score d'Ashworth
Kim et al., 2001 [15]	20 patients > 6 mois post AVC Essai contrôlé randomisé	Genou, hanche et cheville	Amélioration de la force musculaire et de la vitesse de marche dans les deux groupes (S) Pas de différence significative entre les deux groupes de patients Pas d'amélioration du score de qualité de vie dans les deux groupes (SF36)

S : valeur statistiquement significative ; AVC : accident vasculaire cérébral.

Tableau 2

Principaux résultats des deux études portant sur l'utilisation du renforcement musculaire isocinétique dans la rééducation du membre supérieur du patient hémiparétique.

Auteurs	Patients	Design	Articulation(s)	Résultats
Patten et al. [25]	Une patiente à 16 semaines d'un AVC ischémique	Case Report	Épaule Coude	Augmentation de la force des groupes musculaires du coude et de l'épaule Amélioration du score de Fugl Meyer Pas d'augmentation de la spasticité (score d'Ashworth) Amélioration des capacités fonctionnelles: Wolf Motor Function Test, Functional Ability Scale, Mesure d'Indépendance Fonctionnelle
Chang et al. [3]	20 patients > 6 mois post-AVC Travail bi-manuel Dynamomètre isocinétique non rotatoire	Étude ouverte	Épaule Coude	Augmentation de la force de préhension, de la force de poussée et de tiré du membre supérieur (S) Augmentation du score de FM (S) Amélioration des caractéristiques cinématiques des mouvements de préhension (S) Pas d'amélioration des capacités de préhension (Frenchay Arm Test) Pas de majoration de la spasticité (score d'Ashworth)

réalisé est un travail bi-manuel, ce qui constitue un biais de confusion important dans l'interprétation des résultats. L'étude de Patten et al. [28] est un simple cas clinique.

2.4.2. Protocoles de renforcement musculaire isocinétique proposés

2.4.2.1. *Installation des patients.* L'installation des patients pour le travail des membres inférieurs ne diffère en rien de l'installation utilisée habituellement en pathologie ostéoarticulaire ou pour l'entraînement sportif.

Pour le membre supérieur, l'installation décrite par Chang et al. [3] est contrainte par l'appareil utilisé (dynamomètre non rotatoire) : patient assis, bras le long du torse et coudes fléchis à 90°. Les mouvements réalisés consistent en une flexion/extension de l'épaule combinée à une extension/flexion du coude réalisées dans le plan sagittal. Patten et al. [28] rapportent un cas clinique où un dynamomètre rotatoire est utilisé. Le patient est en position assise avec un dossier légèrement incliné en arrière. Les mouvements d'abduction/adduction de l'épaule sont réalisés dans le plan de l'omoplate, coude maintenu en extension par une gouttière. Les mouvements de flexion/

extension de l'épaule sont réalisés dans un plan sagittal, également coude maintenu en extension. Enfin, les mouvements de flexion/extension du coude sont réalisés dans le plan horizontal, le bras étant maintenu en position horizontale par un support placé au niveau de la face inférieure de son tiers distal. Dans les deux études, le déficit de préhension nécessite la fixation de la main à l'effecteur distal à l'aide de contentions souples.

2.4.2.2. Reproductibilité des mesures isocinétiques chez l'hémiplégique. La reproductibilité des mesures isocinétiques de force aux membres inférieurs a fait l'objet du travail de Clark et al. [4]. Ces auteurs ont étudié les résultats obtenus au niveau du quadriceps à des vitesses allant de 30°/s à 240°/s en mode concentrique et à des vitesses allant de 30°/s à 180°/s en mode excentrique dans un groupe de 17 patients hémi-parétiques séquellaires. Ils ont montré que la reproductibilité des mesures obtenues était comparable à celle obtenue dans une population de sujets témoins. Des résultats similaires ont été obtenus dans une population de 20 patients hémi-parétiques par Tripp [38] et dans un groupe de 30 sujets par Noorizadeh et al. [25]. Inversement, Hsu et al. [13] ont étudié la reproductibilité de la mesure du pic de couple, du travail et de la puissance des muscles fléchisseurs de hanche, extenseurs du genou et fléchisseurs plantaires de la cheville dans une population de neuf patients hémi-parétiques évalués deux fois à une semaine d'intervalle. Ces auteurs ont montré que la reproductibilité de la mesure était variable en fonction de la vitesse choisie et du groupe musculaire testé. À notre connaissance, la reproductibilité des mesures isocinétiques n'a pas été étudiée chez le patient hémi-parétique au niveau du membre supérieur.

2.4.2.3. Protocoles de rééducation en renforcement musculaire isocinétique des membres inférieurs. D'une manière générale, les vitesses proposées dans les programmes de renforcement des études publiées varient entre des vitesses lentes (30°/s et 60°/s) et des vitesses moyennes (120°/s et 180°/s). Les modes de contraction utilisés sont les modes concentrique et excentrique. La durée de récupération d'une minute entre les séries est la même dans les différentes études retrouvées. Le nombre de répétition est variable, avec des programmes allant jusqu'à 15 séries ne dépassant pas les dix contractions chacune.

Seule l'étude d'Engardt et al. [9] s'est attachée à comparer deux modes de travail isocinétique, le mode concentrique et le mode excentrique. Les résultats rapportés par ces auteurs suggèrent une meilleure efficacité du travail en excentrique, malgré une mise en œuvre plus difficile.

Aucune des études retrouvées ne s'est attachée à comparer les résultats obtenus à différentes vitesses de travail.

Les différents protocoles retrouvés dans la littérature sont résumés dans le [Tableau 3](#).

2.4.2.4. Protocoles de rééducation en renforcement musculaire isocinétique des membres supérieurs. Au niveau des membres supérieurs, les rares études retrouvées dans la littérature ne s'intéressent qu'au renforcement musculaire de l'épaule ou du coude. Aucun travail n'a été publié à notre connaissance sur le RMI des muscles du poignet et/ou des doigts. Les protocoles utilisés sont résumés dans le [Tableau 4](#). Le mode concentrique et le mode excentrique ont été utilisés, à des vitesses lentes à moyennes (30 à 120°/sec). Le nombre de séances hebdomadaires (trois), la durée de ces séances (40 à 45 minutes), le nombre de séries (trois) et le nombre de

Tableau 3
Protocoles de renforcement musculaire isocinétique des membres inférieurs proposés dans les quatre études retrouvées dans la littérature.

Auteurs	Articulation(s)	Appareil utilisé	Vitesses angulaires	Mode de contraction	Mouvements	Protocole
Rouleaud et al., 2000 [31]	Genou Côté sain et côté parétique	Biodex	60°/s, 120°/s et 150°/s	Excentrique	Flexion-extension	6 semaines 3 fois/semaine 9 séries en moyenne de 10 répétitions (Travail en pyramide) 1 min de récupération/série
Engardt et al., 1995 [10]	Genou Côté parétique	Kin-Com	60°/s, 120°/s et 180°/s	Excentrique (10 patients) Concentrique (10 patients)	Flexion-extension	6 semaines 2 fois/semaine Maximum de 15 séries de 10 répétitions (Travail en pyramide) 1 min de récupération/série
Sharp et al., 1997 [32]	Genou Côté parétique	Cybex II	30°/s, 60°/s et 120°/s	Concentrique	Flexion-extension	6 semaines 3 fois/semaine 40 min/séance 9 séries de 6 à 8 répétitions (3 séries par vitesse) 1 min de récupération/série
Kim et al., 2001 [15]	Genou, hanche et cheville Côté sain et côté parétique	Kin-Com	60°/s	Concentrique	Flexion-extension au niveau des trois articulations	6 semaines 3 fois/semaine 45 min/séance 3 séries de 10 répétitions par articulation 1 min de récupération/série

Tableau 4

Protocoles de renforcement musculaire isocinétique du membre supérieur proposés dans les deux études retrouvées dans la littérature.

Auteurs	Articulation(s)	Appareil utilisé	Vitesse angulaire	Mode de contraction	Mouvements	Protocole
Patten et al. [25]	Épaule Coude	Biodex	30 à 75°/s (augmente de 15°/s chaque 2 semaines) 30 à 90°/s (augmente de 30°/s chaque 2 semaines) 60 à 120°/s (augmente de 30°/s chaque 2 semaines)	Excentrique Concentrique 1 Concentrique 2	Flexion-extension + abduction-adduction + rotation externe-interne/ bras parétique Flexion-extension (Plan transverse)/ bras parétique	6 semaines 3 fois/semaines 35 min/séance (+40 min rééducation classique) 3 séries 10 répétitions
Chang et al. [3]	Épaule Coude	BFIAMT : Bilateral Force-Induced isokinetic Arm Movement Trainer	Dynamomètre non rotatoire	Isocinétique	Mouvements globaux de « poussé » ou de « tiré » sur les poignées du dynamomètre	8 semaines 3 fois/semaine 40 min/séance (+10 min rééducation. Classique) 3 séries de 20 répétitions 5 min de récupération

répétitions par série (dix à 20) sont fortement inspirés des protocoles utilisés pour le RMI des membres inférieurs.

2.5. Discussion

Les quelques études que nous avons retrouvées ne présentent pas les qualités méthodologiques suffisantes pour affirmer le bénéfice du RMI lorsqu'il est utilisé dans la rééducation de l'hémiplégique. Des essais contrôlés randomisés sont nécessaires pour confirmer son intérêt, et surtout démontrer sa supériorité par rapport à d'autres méthodes de rééducation validées.

Cependant, d'une façon générale, l'intérêt du renforcement musculaire dans la rééducation l'hémiplégique est fortement suspecté [1,2]. Le RMI étant une forme de renforcement musculaire, on peut imaginer qu'il présente un intérêt dans cette indication.

Il n'existe pas d'argument dans la littérature pour affirmer que le RMI est plus intéressant que les autres méthodes de renforcement musculaire, en particulier chez l'hémiplégique. Chez le sportif, Croisier et al. [6] avancent que le développement d'un moment de force maximum sur toute l'amplitude du mouvement pourrait avoir un intérêt en physiologie musculaire. La plupart des auteurs [6,32] considèrent que l'intérêt principal du RMI par rapport aux autres méthodes de renforcement musculaire réside dans les points suivants: reproductibilité des exercices, grande précision dans la programmation des séances de travail et de leur contenu, adhésion au programme facilitée par le feed-back visuel et/ou auditif fourni par la machine en temps réel, monitoring aisé des performances du patient. Cet argumentaire est applicable au patient hémiplégique.

Lors de l'élaboration d'un protocole de RMI pour un sujet hémiplégique, le choix du mode de travail concentrique ou excentrique doit être discuté à la lumière des travaux publiés. Le mode concentrique a été le plus utilisé mais plusieurs

arguments suggèrent l'intérêt du mode excentrique, malgré sa difficulté de mise en œuvre :

- le travail excentrique est connu pour être très efficace en matière de renforcement musculaire chez le sportif [9,21], mais également chez le sujet hémiplégique [29] ;
- pour Rouleaud et al. [34], le mode excentrique semble être bien toléré chez les patients hémiplégiques parce qu'il demande une consommation d'énergie moindre ;
- dans les mouvements concentriques rapides, les muscles antagonistes au mouvement sont étirés, ce qui pourrait en théorie majorer la spasticité chez certains patients. Ce phénomène est censé ne pas se produire lors d'un exercice excentrique [5,34].

Aucun des travaux retrouvés ne mentionne l'utilisation chez l'hémiplégique du mode mobilisation passive continue (CPM) ou *continuous passive mobilization* qui est une variante du travail isocinétique. Lors du mode CPM, le mouvement se fait à une vitesse constante (donc isocinétique), mais qui est imposée par le dynamomètre. Le patient peut ainsi réaliser soit une contraction concentrique (dans le même sens que le mouvement induit par le dynamomètre), soit une contraction excentrique (effort de freinage d'un mouvement généré par l'appareil) [8]. Le mode CPM a pourtant été proposé pour l'évaluation musculaire de sujets très déficitaires, dans le cadre de maladies neuromusculaires [20] car il permet un travail dans des situations où le déficit neurologique ne permet pas une contraction musculaire contre la pesanteur notamment.

Son intérêt potentiel réside en deux points :

- quel que soit le niveau de fatigue du patient, l'adjonction d'un mode CPM permet d'avoir la certitude que le mouvement est réalisé sur la totalité de l'amplitude articulaire, même si le couple produit par le patient est très faible ;

- le « guidage » du mouvement par la machine pourrait faciliter la réalisation de la tâche, dans ce contexte où l'existence de troubles sensitifs ou de troubles cognitifs peut rendre l'entraînement isocinétique difficile.

Le risque théorique de majoration de la spasticité lors du renforcement musculaire chez l'hémiplégique a été largement débattu dans la littérature, et la plupart des auteurs cités dans cette revue se sont posés la question lors de leurs évaluations [3,28,34,35]. A partir de ces résultats très préliminaires, il est possible d'avancer que le RMI n'aggrave pas la spasticité lorsqu'il est utilisé après lésion neurologique centrale. En revanche, l'existence d'une hypertonie spastique importante, avec un score d'Aschworth supérieur à 3/5 pourrait être un frein à l'utilisation de la technique pour des raisons pratiques; ce point n'a pas été évalué dans la littérature à notre connaissance.

La pauvreté de la littérature concernant l'utilisation du RMI dans le traitement du membre supérieur parétique après AVC peut s'expliquer de plusieurs façons :

- fréquence des atteintes motrices complètes au niveau du membre supérieur rendant impossible l'utilisation de cet outil [19] ;
- fréquence du syndrome douloureux, en particulier au niveau de l'épaule, rendant l'installation et le travail en force difficiles dans cette population [26] ;
- absence de données consensuelles sur le choix des groupes musculaires à travailler, y compris dans la littérature traitant de l'utilisation du RMI en pathologie ostéoarticulaire [11] ;
- lien entre gain de force et amélioration fonctionnelle encore très discuté au niveau du membre inférieur [15,35], mais également au niveau du membre supérieur : ce point a été soulevé par plusieurs auteurs et la réponse à la question n'est pas univoque [1,2] ;
- enfin, les techniques de « rééducation orientée vers la tâche » ont progressivement pris une place de plus en plus importante dans les programmes de rééducation du membre supérieur. Ces méthodes incluent des techniques conventionnelles de travail en ergothérapie [24,40] mais également des méthodes plus récentes comme la « rééducation par contrainte induite » qui trouve dans cette population de patients hémiplégiques ses meilleures indications [27,37,41]. D'autres méthodes émergentes de rééducation, qui sont en plein essor actuellement, peuvent être considérées comme « orientées vers la tâche » : rééducation assistée par dispositif électromécanique [19], stimulation électrique fonctionnelle [7,30], rééducation en réalité virtuelle ou augmentée [16]. La place du renforcement musculaire du membre supérieur dans nos stratégies thérapeutiques reste à définir : il est probable que cette méthode est un complément utile aux techniques de rééducation orientées vers la tâche [3] mais ne se substituera pas à celles-ci [26,31,42].

2.6. Conclusion

De nombreux arguments de la littérature suggèrent l'intérêt du RMI dans la rééducation du patient hémiplégique, en

particulier au niveau du membre inférieur. Le bénéfice du RMI dans la rééducation du membre supérieur hémiplégique doit être confirmé par d'autres études. Le choix des protocoles de RMI doit être effectué à la lumière des travaux cités plus hauts, avec un intérêt tout particulier pour le mode CPM et encore beaucoup de questionnements sur l'intérêt et la faisabilité du travail en excentrique pour le membre supérieur. Enfin, la place du RMI en complément des autres méthodes de rééducation du patient après accident vasculaire cérébral doit être précisée.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

References

- [1] Bohannon RW. Muscle strength and muscle training after stroke. *J Rehabil Med* 2007;39(1):14–20.
- [2] Canning CG, Ada L, Adams R, O'Dwyer NJ. Loss of strength contributes more to physical disability after stroke than loss of dexterity. *Clin Rehabil* 2004;18(3):300–8.
- [3] Chang JJ, Tung WL, Wu WL, Huang MH, Su FC. Effects of robot-aided bilateral force-induced isokinetic arm training combined with conventional rehabilitation on arm motor function in patients with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88(10):1332–8.
- [4] Clark DJ, Condliffe EG, Patten C. Reliability of concentric and eccentric torque during isokinetic knee extension in post-stroke hemiparesis. *Clin Biomech (Bristol Avon)* 2006;21(4):395–404.
- [5] Croisier J. Treatment of recurrent tendinitis by isokinetic eccentric exercises. *Isokinet Exerc Sci* 2001;9:133–41.
- [6] Croisier JL, Crielaard JM. Méthodes d'exploration de la force musculaire: Une analyse critique. *Ann Readapt Med Phys* 1999;42(6):311–22.
- [7] Daly JJ, Hogan N, Perepezko EM, Krebs HI, Rogers JM, Goyal KS, et al. Response to upper-limb robotics and functional neuromuscular stimulation following stroke. *J Rehabil Res Dev* 2005;42(6):723–36.
- [8] Denis M, Moffet H, Caron F, Ouellet D, Paquet J, Nolet L. Effectiveness of continuous passive motion and conventional physical therapy after total knee arthroplasty: a randomized clinical trial. *Phys Ther* 2006;86(2):174–85.
- [9] Engardt M, Knutsson E, Jonsson M, Sternhag M. Dynamic muscle strength training in stroke patients: effects on knee extension torque, electromyographic activity, and motor function. *Arch Phys Med Rehabil* 1995;76(5):419–25.
- [10] Fasoli SE, Krebs HI, Stein J, Frontera WR, Hogan N. Effects of robotic therapy on motor impairment and recovery in chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84(4):477–82.
- [11] Forthomme B, Croisier JL, Foidart M, Crielaard JM. Exploration isocinétique de l'avant-bras et du poignet. Méthodologie et application à une pathologie tendineuse. *J Traum Sport* 2004;21(2):80–7.
- [12] Friedman PJ. Gait recovery after hemiplegic stroke. *Int Disabil Stud* 1990;12(3):119–22.
- [13] Hsu AL, Tang PF, Jan MH. Test-retest reliability of isokinetic muscle strength of the lower extremities in patients with stroke. *Arch Med Phys Rehabil* 2002;83:1130–7.
- [14] Kellis E, Baltzopoulos V. Isokinetic eccentric exercise. *Sports Med (Auckland NZ)* 1995;19(3):202–22.
- [15] Kim CM, Eng JJ, MacIntyre DL, Dawson AS. Effects of isokinetic strength training on walking in persons with stroke: a double-blind controlled pilot study. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2001;10(6):265–73.
- [16] Laver KE, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation (review). *Cochrane Lib* 2011;(Issue 9). Art. No.: CD008349.

- [17] Levin MF, Kleim JA, Wolf SL. What do motor “recovery” and “compensation” mean in patients following stroke? *Neurorehab Neural Repair* 2009;23(4):313–9.
- [18] Lum PS, Burgar CG, Shor PC, Majmundar M, Van der Loos M. Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83(7):952–9.
- [19] Masiero S, Celia A, Rosati G, Armani M. Robotic-assisted rehabilitation of the upper limb after acute stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88(2):142–9.
- [20] Merlini L, Dell’Accio D, Holzl A, Granata C. Isokinetic muscle testing (IMT) in neuromuscular diseases. Preliminary report. *Neuromuscular Disord* 1992;2(3):201–7.
- [21] Middleton P, Montero C. Eccentric muscular contraction: implications in treatment of athletes. *Ann Readapt Med Phys* 2004;47(6):282–9.
- [22] Morris SL, Dodd KJ, Morris ME. Outcomes of progressive resistance strength training following stroke: a systematic review. *Clin Rehabil* 2004;18(1):27–39.
- [23] Muller F, Dehail P, Bestaven E, Petit J, Joseph PA, Barrat M, et al. Maximal and sustained isokinetic lower-limb muscle strength in hospitalized older people. *Muscle & Nerve* 2007;35(6):739–44.
- [24] Nakayama H, Jørgensen HS, Raaschou HO, Olsen TS. Compensation in recovery of upper extremity function after stroke: the Copenhagen Stroke Study. *Arch Phys Med Rehabil* 1994;75(8):852–7.
- [25] Noorizadeh Dehkordi S, Talebian S, Olyaei G, Montazeri A. Reliability of isokinetic normalized peak torque assessments for knee muscles in post-stroke hemiparesis. *Gait & Posture* 2008;27:715–8.
- [26] Oujamaa L, Relave I, Froger J, Mottet D, Pelissier JY. Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review. *Ann Readapt Med Phys* 2009;52(3):269–93.
- [27] Page SJ, Levine P, Sisto S, Bond Q, Johnston MV. Stroke patients’ and therapists’ opinions of constraint-induced movement therapy. *Clin Rehabil* 2002;16(1):55–60.
- [28] Patten C, Dozono J, Schmidt SG, Jue ME, Lum PS. Combined functional task practice and dynamic high intensity resistance training promotes recovery of upper-extremity motor function in post-stroke hemiparesis: a case study. *J Neurol Phys Ther* 2006;30(3):99–115.
- [29] Patten C, Lexell J, Brown HE. Weakness and strength training in persons with poststroke hemiplegia: rationale, method, and efficacy. *J Rehabil Res Dev* 2004;41(3A):293–312.
- [30] Pomeroy VM, King LM, Pollock A, Baily-Hallam A, Langhorne P. Electrostimulation for Promoting Recovery of Movement or Functional Ability After Stroke. Systematic Review and Meta-Analysis. *Stroke* 2006;37:2441–2.
- [31] Ramas J, Courbon A, Fayolle-Minon I, Calmels P. Training programs in stroke patients: literature review. *Ann Readapt Med Phys* 2007;50(1):28–41. Epub 2006/12/01.
- [32] Robineau S, Nicolas B, Gallien P, Petrilli S, Durufle A, Edan G, et al. Renforcement musculaire isocinétique excentrique des ischiojambiers chez des patients atteints de sclérose en plaque. *Ann Readapt Med Phys* 2005;48(1):29–33.
- [33] Rochcongar P. Évaluation isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou en médecine du sport: revue de la littérature. *Ann Readapt Med Phys* 2004;47(6):274–81.
- [34] Rouleaud S, Gaujard E, Petit H, Picard D, Dehail P, Joseph P, et al. Isocinétisme et rééducation de la marche de l’hémiplégique: Isokinetic exercise and gait training in hemiplegic patients. *Ann Readapt Med Phys* 2000;43(8):428–36.
- [35] Sharp SA, Brouwer BJ. Isokinetic strength training of the hemiparetic knee: effects on function and spasticity. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;78(11):1231–6.
- [36] Stein J, Krebs HI, Frontera WR, Fasoli SE, Hughes R, Hogan N. Comparison of Two Techniques of Robot-Aided Upper Limb Exercise Training After Stroke. *Am J Phys Med Rehabil* 2004;83(9):720–8.
- [37] Taub E, Uswatte G, Elbert T. New treatments in neurorehabilitation founded on basic research. *Nat Rev Neurosci* 2002;3(3):228–36.
- [38] Tripp EJ, Harris SR. Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion torque measurements in persons with spastic hemiparesis. *Phys Ther* 1991;71:390–6.
- [39] Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein Otr L, Diels C, Aisen M. A novel approach to stroke rehabilitation: robot-aided sensorimotor stimulation. *Neurology* 2000;54(10):1938–44.
- [40] Warlow C, Gijn JV, Dennis MS, Wardlaw JM, Bamford J. *Stroke: practical management*. Third edition, Blackwell Publishing; 2008.p.954-955.
- [41] Wu CY, Chen CL, Tang SF, Lin KC, Huang YY. Kinematic and clinical analyses of upper-extremity movements after constraint-induced movement therapy in patients with stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88(8):964–70.
- [42] Yelnik A. Evolution of the concepts concerning rehabilitation treatment for hemiplegic patients. *Ann Readapt Med Phys* 2005;48(5):270–7.