



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) 241–251

ANNALS
 OF PHYSICAL
 AND REHABILITATION MEDICINE

Original article / Article original

Reproducibility of the time to peak torque and the joint angle at peak torque on knee of young sportsmen on the isokinetic dynamometer

Reproductibilité des paramètres de temps de développement de la force maximale et d'angle d'efficacité maximale du genou de jeunes sportifs sur dynamomètre isocinétique

P.-L. Bernard^{a,*}, M. Amato^b, F. Degache^c, P. Edouard^c, S. Ramdani^a, H. Blain^a,
 P. Calmels^c, P. Codine^d

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

^b *Centre « Les Cadrans Solaires », route de Saint-Paul, 06180 Vence, France*

^c *Department of Physical Medicine and Rehabilitation, LPE EA 4338, Laboratory of Exercise Physiology, University Hospital St-Étienne, 42005 Saint-Étienne cedex 2, France*

^d *Clinique « La Pinède », allée des Arts, 66240 Saint-Estève, France*

Received 9 September 2011; accepted 28 January 2012

Abstract

Background. – Although peak torque has shown acceptable reproducibility, this may not be the case with two other often used parameters: time to peak torque (TPT) and the angle of peak torque (APT). Those two parameters should be used for the characterization of muscular adaptations in athletes. **Methods.** – The isokinetic performance of the knee extensors and flexors in both limbs was measured in 29 male athletes. The experimental protocol consisted of three consecutive identical paradigms separated by 45 min breaks. Each test consisted of four maximal concentric efforts performed at 60 and 180°/s. Reproducibility was quantified by the standard error measurement (SEM), the coefficient of variation (CV) and by means of intra-class correlation coefficients (ICCs) with the calculation of 6 forms of ICCs.

Results. – Using ICC as the indicator of reproducibility, the correlations for TPT of both limbs showed a range of 0.51–0.65 in extension and 0.50–0.63 in flexion. For APT, the values were 0.46–0.60 and 0.51–0.81, respectively. In addition, the calculated standard error of measurement (SEM) and CV scores confirmed the low level of absolute reproducibility.

Conclusions. – Due to their low reproducibility, neither TPT nor APT can serve as independent isokinetic parameters of knee flexor and extensor performance. So, given its reproducibility level, TPT and APT should not be used for the characterization of muscular adaptations in athletes.

© 2012 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Reproducibility; Isokinetic; Knee; Prevention; Sportsmen

Résumé

Position. – Alors que le paramètre de force maximale a montré un bon niveau de reproductibilité, il n'en est pas de même pour le temps de développement de la force maximale (TDFM) et l'angle d'efficacité maximale (AEM) qui demeurent controversés. Ces deux paramètres pourraient participer à la caractérisation des adaptations musculaires de sujets sportifs.

Méthode. – Les performances isocinétiques des fléchisseurs et extenseurs du genou ont été mesurées chez 29 sportifs masculins. Le protocole comprenait trois séries de tests séparées de 45 minutes avec au sein de chaque test quatre contractions maximales réalisées aux vitesses de 60 et 180°/seconde. La reproductibilité a été quantifiée par la mesure de l'erreur standard (SEM), du coefficient de variation (CV) et des coefficients de corrélation intra-classe (CCI) selon six méthodes de calcul.

Résultats. – Sur la base des CCI, les corrélations du TDFM sont situées entre 0,51–0,65 en extension et entre 0,50–0,63 en flexion. Pour l'AEM, les valeurs étaient respectivement de 0,46–0,60 et de 0,51–0,81. De plus, les calculs du SEM et du CV confirmaient les faibles niveaux de reproductibilité absolue.

* Corresponding author.

E-mail address: pierrick.bernard@univ-montp1.fr (P.-L. Bernard).

Conclusion. – Au regard de leurs trop faibles niveaux de reproductibilité, les deux paramètres de TDFM et d’AEM ne peuvent servir fiablement la caractérisation des adaptations des muscles fléchisseurs et extenseurs du genou de sportifs.

© 2012 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Reproductibilité ; Isocinétisme ; Genou ; Prévention ; Sportifs

1. English version

1.1. Introduction

Most muscular function studies have shown good inter-test reproducibility of three closely inter-related isokinetic parameters: peak torque, work and mean power [1,8,10,16–18,25,27]. Several parameters are generally used to characterize muscular adaptations, but all must first meet the validation criteria that ensure methodological value and clinical interest [3,22].

Since many years, the relations between muscular composition and isokinetic strength were studied [6]. More, a critical approach existed about the relation between the isokinetic strength characterised by the peak torque and muscle fiber type [12,14].

For many years, the value of the time to peak torque (TPT) and the angle of peak torque (APT) have remained controversial [9,23,24,30]. TPT characterizes “muscular explosiveness” [18], and some studies have reported a relationship between high velocities of joint rotation and a certain number of anatomical and physiological disorders [11]. APT is the joint angle when peak torque is reached. Given the contradictory reports in the literature [2,7,13,21,31], our objective was to test the reproducibility of TPT and APT. We did so by analyzing the reproducibility of TPT and APT values in 29 athletes using knee muscle flexors and extensors at 60 and 180°/s on both the dominant and opposite sides.

1.2. Method

1.2.1. Subjects

The study cohort consisted of 29 male athletes, soccer players (Soccer), gymnasts (Gymnast), or swimmers (Swimmer), which practice at national level of competition. For soccer and gymnast sportsmen, they trained two hours by day in elite federal structure. For reason of homogeneity of population, we only selected men’s gender. They were separated by sport into three groups which did not differ significantly regarding anthropometric characteristics or the number of years of training (Table 1). All participants were selected on the basis of the following criteria: involvement in their respective sport for a minimum of 3 years and training for at least twice weekly; age range was defined between 18–30, inclusive. We excluded any athlete presenting with serious injury to the quadriceps, hamstring or knee within 12 months preceding the tests. We also excluded athletes who had an isokinetic assessment of the knee within the last 12 months for familiarisation reason.

1.2.2. Experimental protocol

Tests were performed bilaterally in the seated position (hip flexion angle at 110°) with Velcro straps to stabilize the trunk, waist and the thigh of the tested leg. The contralateral limb was not strapped. The resistance pad was placed 3 cm above the ankle joint and the dynamometer’s axis of rotation was aligned with that of the knee joint. During testing, the hands were crossed over the trunk. The dominant limb was assumed to be the one spontaneously used to kick a ball. The peak torque was not corrected with respect to the effects of gravity.

Each subject warmed up with 10 min of cycling and 5 min of quadriceps and hamstring stretching exercises. For all subjects, motion ranged from 0° (full extension) to 90° of knee flexion. The warm-up was followed by four submaximal exercises of the knee extensors and flexors before each isokinetic velocity test (60 and 180°/s). The experimental protocol consisted of three repetitions of an isokinetic test at 60 and 180°/s with 45 min of rest between the three tests (1: 60 and 180°/s, 45-min rest; 2: 60 and 180°/s, 45-min rest; 3: 60 and 180°/s). Each test consisted of four maximal concentric efforts of the knee extensors and flexors of the dominant limb at 60°·s⁻¹ and then of the non-dominant limb after 3 min of rest. The participants then rested for 5 min before the second part of the test. The second part consisted of four maximal concentric efforts of the knee extensors and flexors of the dominant limb at 180°/s and then of the non-dominant limb after 3 min of rest. After both the first and second isokinetic tests, 45 min of rest were given. We thus analyzed TPT and APT in eight test conditions: quadriceps dominant 60°/s, quadriceps non-dominant 60°/s, quadriceps dominant 180°/s, quadriceps non-dominant 180°/s, hamstring dominant 60°/s, hamstring non-dominant 60°/s, hamstring dominant 180°/s and hamstring non-dominant 180°/s. The subjects were instructed to work as hard as possible in the entire range of motion (0–90°) of the movement.

Table 1
Characteristics of the participants.

	Age	Height	Weight
<i>Population</i>			
m	21.91	177.93	73.48
sd	2.29	6.69	6.58
<i>Soccer n = 15</i>			
m	21.33	178.40	73.13
sd	2.01	5.88	4.39
<i>Gymnast n = 7</i>			
m	22.36	174.43	70.14
sd	2.11	7.11	6.28
<i>Swimmer n = 7</i>			
m	22.71	180.43	77.57
sd	2.96	7.46	9.20

1.2.3. Instrument

We used the Cybex Orthotron KT[®] isokinetic dynamometer of the Helio Marin Medical Centre in Vallauris, France. Humac Médimex[®] Windows software was used to record the parameters.

1.2.4. Statistical analysis

The normality of the subjects' characteristics and values was verified with the Kolmogorov-Smirnov test. Absolute reproducibility, defined as the degree to which repeated measurements vary for a given individual (i.e., trial-to-trial noise), was expressed by the standard error of measurement (SEM). SEM is presented as the percentage of the mean value (SEM(%) = SEM(Nm)/mean value of two sessions). The 95% limits of agreement for the determination of the minimum detectable change (MDC) was calculated as $\pm 1.96 \times \sqrt{2} \times \text{SEM}$. The level of significance was set at $P < 0.05$. These analyses were performed with Statview[®] software (Version 5.0, SAS Institute, Inc., Cary, NC).

For both TPT and ATP, reproducibility was quantified by means of intra-class correlation coefficients (ICCs). ICCs are relative measures of reproducibility [4]. Technically, these coefficients are the ratios of variances computed by repeated measures ANOVA. The value of an ICC ranges from 0 to 1, 0 indicating no reproducibility and 1 corresponding to maximal reproducibility. ICCs were considered excellent if greater than 0.9 and at good level between 0.7–0.9.

Each ICC has its statistical advantages and limitations [32]. In order to obtain a complete description of the reproducibility of the TPT and APT parameters, we calculated the six forms of ICCs proposed by Shrout and Fleiss [29]. These forms are derived from different ANOVA models. First, there are three general models denoted 1, 2 and 3, depending on the sampling of the raters (or trials) assumed to be used to assess the subjects. For each of these models, two ICCs can be defined according to the way the scores are considered in the analysis. If single scores are used, the associated ICC is designated by the number 1. If the score of each subject is obtained by an average across trials, the letter k is attributed to the corresponding ICC. Hence, we obtained six ICCs, respectively denoted by: 1,1; 1,k; 2,1; 2,k; 3,1 and 3,k. These analyses were performed with Matlab[®] software.

1.3. Results

1.3.1. For time to peak torque in extension

For TPT in extension on the dominant side at 60°/s, the six forms of ICCs delivered values between 0.65 and 0.85. These values were lower and ranged 0.51–0.76 at 180°/s (Table 3). At 60 and 180°/s, the values of CV were respectively 9.8 and 11.1%, with respective SEMs of 0.12 and 0.15 (Table 2). On the non-dominant side, the values of ICC ranked 0.57–0.86 at 60°/s and 0.57–0.81 at 180°/s (Table 3). For these test speeds, the values of CV were respectively 8.1 and 10.3%, with respective SEMs of 0.08 and 0.13 (Table 2). For the isokinetic data, we observed values of between 0.38 and 0.41-s at 60°/s and between 0.18 and 0.19-s at 180°/s during the three dominant

Table 2

Values of the standard error of measurement (SEM) and coefficient of variation (CV) of the time to peak torque (TPT) and the joint angle at peak torque (APT) measured during flexion and extension movements on the dominant and non-dominant sides at 60°/s and 180°/s.

	% SEM	% CV
<i>TPT</i>		
Dom Ext 60	0.12	9.8
Dom Ext 180	0.15	11.1
Ndom Ext 60	0.08	8.1
Ndom Ext 180	0.13	10.3
Dom Fl 60	0.18	16.1
Dom Fl 180	0.16	14
Ndom Fl 60	0.15	13
Ndom Fl 180	0.15	14.7
<i>ATP</i>		
Dom Ext 60	0.05	4.5
Dom Ext 180	0.08	7.4
Ndom Ext 60	0.04	3.3
Ndom Ext 180	0.07	5.7
Dom Fl 60	0.15	11.7
Dom Fl 180	0.13	10.8
Ndom Fl 60	0.14	10.3
Ndom Fl 180	0.12	10.7

Table 3

Values of intra-class correlation coefficients (ICC) for the time to peak torque (TPT) and the joint angle at peak torque (APT) measured during flexion and extension movements on the dominant and non-dominant sides at 60°/s and 180°/s.

EXT	TPT dom 60	TPT nd 60	TPT dom 180	TPT nd 180
1,1	0.65	0.57	0.51	0.57
1,k	0.85	0.80	0.76	0.80
2,1	0.65	0.59	0.51	0.58
2,k	0.85	0.81	0.76	0.80
3,1	0.66	0.68	0.51	0.59
3,k	0.86	0.86	0.75	0.81
FL	TPT dom 60	TPT nd 60	TPT dom 180	TPT nd 180
1,1	0.50	0.62	0.63	0.63
1,k	0.75	0.83	0.83	0.84
2,1	0.51	0.62	0.63	0.64
2,k	0.76	0.83	0.83	0.84
3,1	0.55	0.62	0.62	0.67
3,k	0.78	0.83	0.83	0.86
EXT	APT dom 60	APT nd 60	APT dom 180	APT nd 180
1,1	0.61	0.60	0.46	0.48
1,k	0.82	0.82	0.72	0.74
2,1	0.62	0.61	0.47	0.50
2,k	0.83	0.83	0.73	0.75
3,1	0.71	0.67	0.51	0.55
3,k	0.88	0.86	0.75	0.79
FL	APT dom 60	APT nd 60	APT dom 180	APT nd 180
1,1	0.51	0.67	0.57	0.54
1,k	0.76	0.86	0.80	0.78
2,1	0.53	0.67	0.57	0.55
2,k	0.77	0.86	0.80	0.78
3,1	0.59	0.68	0.57	0.56
3,k	0.81	0.86	0.80	0.79

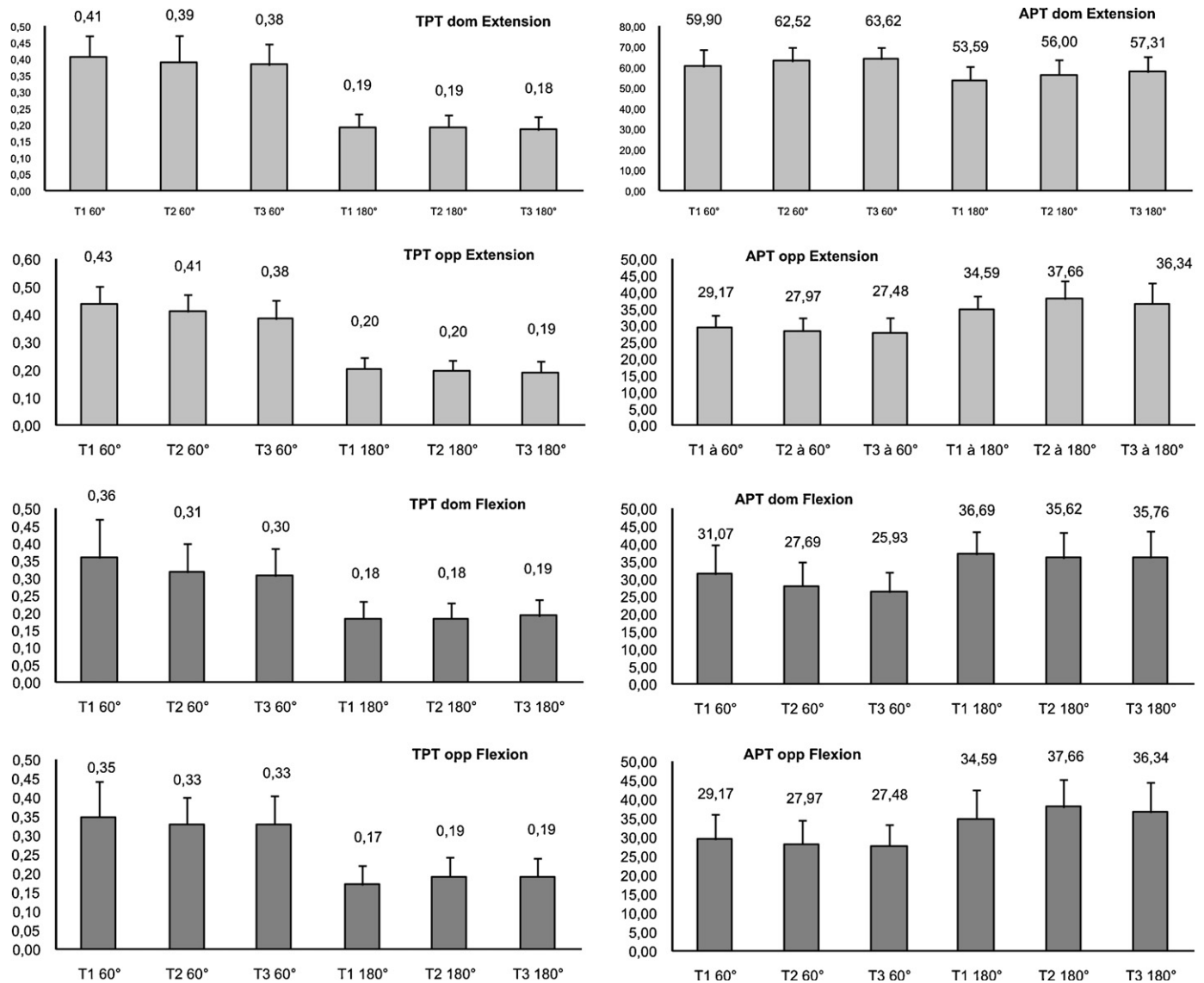


Fig. 1. Means and standard deviations of the time to peak torque (TPT) and the joint angle at peak torque (APT) measured during flexion and extension movements on the dominant and non-dominant sides at 60 and 180°/s.

side tests. On the non-dominant side, the values were ranked between 0.38 and 0.43-s at 60°/s and 0.19–0.20-s at 180°/s (Fig. 1).

For TPT in flexion, we observed ICC values between 0.50 and 0.78 at 60°/s on the dominant side. These values ranked 0.63–0.83 at 180°/s (Table 3). At 60 and 180°/s, the values of CV were respectively 16.1 and 14%, with respective SEMs of 0.18 and 0.16 (Table 2). On the non-dominant side, the values of ICC ranked 0.62–0.83 at 60°/s and 0.63–0.86 at 180°/s (Table 2). At these speeds, the values of CV were respectively 13 and 14.7%, with respective SEMs of 0.15 for both measures (Table 2). For the isokinetic data during the three tests on the dominant side, we observed values between 0.30 and 0.36-s at 60°/s and between 0.18 and 0.19 seconds at 180°/s. On the non-dominant side, the isokinetic values ranked 0.33–0.35-s at 60°/s and between 0.17 and 0.19-s at 180°/s (Fig. 1).

1.3.2. For angle of peak torque in extension

For APT in extension, we observed ICCs of between 0.61 and 0.88 at 60°/s and between 0.46 and 0.75 at 180°/s on the dominant side (Table 3). At 60 and 180°/s, the values were respectively 4.5 and 7.4% for CV, with respective SEMs of 0.05 and 0.08 (Table 2). On the non-dominant side, the ICCs ranked between 0.60 and 0.86 at 60°/s and between 0.48 and 0.79 at 180°/s (Table 2). At these speeds, the CV values were respectively 3.3 and 5.7%, with respective SEMs of 0.04 and 0.07 (Table 2). For the isokinetic data, we observed values between 59.9 and 63.6° at 60°/s and between 53.6 and 57.3° at 180°/s during the three tests performed on the dominant side. On the non-dominant side, the values were ranked between 60.6 and 63.1° at 60°/s and between 53.5 and 57.2° at 180°/s (Fig. 1).

For APT in flexion, we observed ICCs between 0.51 and 0.81 at 60°/s on the dominant side. These values ranked between 0.57 and 0.80 at 180°/s (Table 3). At 60 and 180°/s, the

values of CV were respectively 11.7 and 10.8%, with respective SEMs of 0.15 and 0.13 (Table 2). On the non-dominant side, the ICC values were between 0.67 and 0.86 at 60°/s and between 0.54 and 0.79 at 180°/s (Table 2). At these speeds, the CV values were respectively 10.3 and 10.7%, with respective SEMs of 0.14 and 0.12 (Table 2). For the isokinetic data, we observed values ranked 25.9–31.1° at 60°/s and 35.6–36.7° at 180°/s during the tests on the dominant side. On the non-dominant side, the values were ranked 27.5–29.2° at 60°/s and 34.6–37.6° at 180°/s (Fig. 1).

1.4. Interpretation

The overall analysis indicates that the reproducibility of TPT and APT, as tested on a sample population of young athletes, was insufficient. The analysis depended on six calculation methods that are more or less rigorous, which therefore generated a range of values. These values were most often positioned between 0.60 and 0.80 for TPT and between 0.50 and 0.80 for APT. An analysis by parameter and by muscular group is now needed. The use of CV and SEM tests completed the analysis.

For TPT of these athletes, the analysis reached 0.86 on the dominant side, whereas the opposite side had a base value of 0.57, which leads to the conclusion that this level of reproducibility is unsatisfactory. At 180°/s, the reproducibility was lower, and this can be explained by the lower resistance to movement at higher speeds, and the shorter duration of isokinetic work [15,26]. Furthermore, we hypothesize that the typology of slow-twitch fibers of the dominant quadriceps group improved the reproducibility at a lower rate of work. Whatever the supporting evidence, we assume that for this muscular group, better methodological conditions were obtained at a slower evaluation speed.

For the hamstring and knee flexors, the reproducibility appeared to be opposite to that of the quadriceps; that is, slightly better at the fast speed of 180°/s, with similar values on the two contralateral sides and situated between 0.62 and 0.86. Therefore, they were not as good as at slow speeds, ranging from 0.50 at 60°/s on the dominant side using the most rigorous calculation method to 0.83 on the opposite side employing the most tolerant method.

In summary, given its reproducibility level, TPT should not be used for the characterization of muscular adaptations in athletes. So we cannot select TPT parameter to characterize the influence of muscular training or the effects of sport practice. The low level of reproducibility confirms previous research conducted on healthy subjects [7] and a group of 24 young women [21] and contradicts the research showing evidence of satisfactory reproducibility in a group of 18 older women [2] and 178 subjects between 45 and 78 years old [13].

Clinically, although limited to a methodological point of view, TPT is typically chosen to identify the physical qualities of athletes. It can be linked to explosiveness, one of the components of force. Two validated parameters, maximum force and work, traditionally characterize functional abilities, whereas exercise type, intensity, duration and frequency

complete the characterization of training and individual behavior. Given the levels of reproducibility obtained using ICC calculations, one should remain cautious about accepting TPT as an objective parameter of individual muscle qualities. The finding of CV values between 8.1 and 16.1% and greater than 10% in six of the eight test conditions (Table 2), as well as the SEM values generally close to 0.15%, confirms the insufficient methodological value.

Most importantly, TPT should not be taken as a valid means to identify the causes of malfunction regarding the ability to create sudden variations in speed. The acceleration created and sustained at the musculo-articular level requires the integrity of the periarticular structures that ensure physiological work and the nervous control of movement that goes hand in hand with motor efficiency. The concepts of sense of position and direction of movement that mobilize proprioception and the processing of kinesthetic information contribute to this regulation. In certain sports like baseball or tennis, throwing and striking mobilize the upper limbs. Numerous studies have sought to identify the causes of chronic disorders. Explosiveness is a key muscular quality since it is the source of performance all the while controlling development. Given the musculo-articular constraints during repeated movements and the variations in values at heightened speeds, we conclude that TPT is of limited value for understanding and controlling muscular adaptations in the design of training programs that combine optimization and prevention.

A critical approach is necessary about the relations between “explosiveness” and the isokinetic parameter of TPT [18]. We also need for these studies to answer the relation between fiber-type composition and isokinetic strength characterized by peak torque [12,14]. Moreover, many studies present non-significative relations between isokinetic values of strength and sport performance developed at different speed levels and in anisokinetic movements [5,19,20,28,33]. So, as regards to these limits and the level of reproducibility observed in our study, we could doubt about the validity of TPT.

The reproducibility of APT, as tested by the ICC calculations, was generally lower than that of TPT. For the quadriceps, it fell below 0.50 at 180°/s under the most rigorous conditions of reproducibility analysis on both tested sides (0.46 and 0.48). At 60°/s, reproducibility was better, positioned between 0.60 and 0.86. This confirms the observation for TPT; that is, the reproducibility for the quadriceps is better at slow speeds. For the hamstrings, the most rigorous calculation conditions showed evidence of low reproducibility, situated between 0.50 and 0.60 in three of the four test conditions and lower than those measured for TPT. However, test speed seemed to have less influence on the ICC value.

The clinical relevance value of ATP is different and therefore complements that of explosiveness. The determination of the joint angle at the occurrence of maximum force is directly dependent on several factors: the assembly of the joint, the muscular group tested, the type of practice (endurance versus maximum strength), and the level of practice. In a more striking manner than that of TPT, the methodological reproducibility of APT was low in a population of young national-level athletes

and this confirms the reservations about APT expressed by previous researchers [7,31].

This study contains many limits. In fact, we have only selected two test speeds and for the population we have selected different profiles of sportsmen. In addition, it would be relevant to analyse the influence of one sport such as swimming or soccer on reproducibility data of strength. So we could make the hypothesis that the swimming practice is in favour of a best control of isokinetic exercise and its repetition in relation with mechanical resistance, which increases with square of speed in water and so is nearer to the characteristics of isokinetic contraction. The application on elderly people or on population being in rehabilitation periods also represents some prospects.

1.5. Conclusion

Our results indicate that TPT values are not sufficiently reproducible for use in the characterization of muscular adaptations in athletes. Given the low reproducibility obtained using ICC calculations, as well as CV and SEM analysis, the reservations about TPT as a means to characterize individual muscle qualities appear to be justified. The reproducibility of APT, as tested by ICC, was generally lower than that of TPT. The low methodological reproducibility value of APT given by ICC, CV and SEM analysis in a population of nationally-ranked young athletes confirms the findings of low APT reproducibility reported by previous researchers.

Disclosure of interest

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

Acknowledgement

The authors wish to thank Dr F. Lemoine and the team of Centre Helio Marin of Vallauris for their participation and the access to the dynamometer.

2. Version française

2.1. Introduction

La majorité des études portant sur la fonction musculaire a montré un bon niveau de reproductibilité des paramètres isocinétiques de force maximale, de travail et de puissance moyenne [1,8,10,16–18,25,27]. Il existe un grand nombre de paramètres de caractérisation des adaptations musculaires mais tous ont initialement dû répondre de leurs critères de validation méthodologique afin de témoigner par la suite de leur intérêt clinique [3,22].

Depuis de nombreuses années, les relations entre la composition musculaire et les forces isocinétiques développées sont étudiées [6]. Une approche critique existe au sujet des relations existantes entre les forces isocinétiques caractérisées par le couple de force maximal et la composition typologique [12,14]. De plus, depuis des années, le temps de développement

de la force maximale (TDFM) et l'angle d'efficacité maximale (AEM) demeurent controversés [9,23,24,30]. Le TDFM caractérise « l'explosivité musculaire » [18] et quelques études ont rapporté des relations entre les vitesses angulaires mesurées au niveau articulaire et un certain nombre de dysfonctionnements musculo-articulaires [11]. L'AEM représente l'angle auquel le couple maximal est observé. Considérant les données controversées issues de la littérature [2,7,13,21,31], notre objectif était de tester la reproductibilité du TDFM et de l'AEM chez 29 jeunes sportifs lors de mouvements de flexion et d'extension de genou réalisés sur les côtés dominant et non-dominant à 60 et 180°/s.

2.2. Méthode

2.2.1. Sujets

La population étudiée comprenait 29 sportifs masculins pratiquant le football, la gymnastique et la natation à des niveaux de compétitions nationales. Pour le football et la gymnastique, les sportifs s'entraînaient plus de deux heures par jour au sein de structures d'élite de formations fédérales. Pour des raisons d'homogénéité de la population, nous n'avons sélectionné que des hommes. Ils étaient différenciés en trois groupes de sportifs non-significativement différents du point de vue des caractéristiques anthropométriques et des années de pratique (Tableau 1). Tous les participants étaient sélectionnés sur la base des critères suivants : un investissement de plus de trois ans dans leur sport respectif avec un entraînement d'au minimum trois séances hebdomadaires ; un âge compris entre 15 et 30 ans inclus. Nous avons exclu les sportifs ayant des pathologies au niveau des quadriceps, des ischiojambiers ou des genoux dans les 12 mois précédents les tests. Nous avons de plus exclus les sportifs ayant eu une évaluation isocinétique dans les douze mois précédents les tests pour des raisons de familiarisation.

2.2.2. Protocole expérimental

Les tests étaient réalisés bilatéralement en position assise avec un angle de flexion de hanche de 110° et un sanglage du tronc et de la taille afin d'éviter les compensations et les déséquilibres. Durant les tests, les membres supérieurs étaient croisés sur le tronc et le membre inférieur controlatéral était laissé libre. L'axe

Tableau 1
Caractéristiques de la population.

	Âge	Taille	Poids
<i>Population</i>			
m	21,91	177,93	73,48
sd	2,29	6,69	6,58
<i>Footballeur n = 15</i>			
m	21,33	178,40	73,13
sd	2,01	5,88	4,39
<i>Gymnaste n = 7</i>			
m	22,36	174,43	70,14
sd	2,11	7,11	6,28
<i>Nageur n = 7</i>			
m	22,71	180,43	77,57
sd	2,96	7,46	9,20

du dynamomètre était aligné avec l'axe de l'articulation du genou. L'amplitude de mouvement s'étendait de 0° en extension complète à 90° de flexion de genou. Le côté dominant était systématiquement testé en premier. Les valeurs de couple de force n'intégraient pas la correction des effets de la gravité.

Chaque sujet bénéficiait d'un échauffement de dix minutes sur bicyclette ergométrique et de cinq minutes d'étirements sur les groupes musculaires quadriceps et ischiojambiers. L'échauffement était suivi de quatre contractions des extenseurs et des fléchisseurs à chacune des deux vitesses de tests sélectionnées de 60 et 180°/s.

Le protocole expérimental comprenait trois sessions de tests isocinétiques à 60 et 180°/s avec un temps de récupération de 45 minutes entre les sessions (1 : 60 et 180°/s, 45 minutes de récupération ; 2 : 60 et 180°/s, 45 minutes de récupération ; 3 : 60 et 180°/s). Chaque test comprenait quatre contractions concentriques maximales des extenseurs et des fléchisseurs du genou sur le côté dominant à 60°/s, puis du côté non-dominant après trois minutes de récupération. Les participants bénéficiaient alors de cinq minutes de récupération avant la seconde partie du test composé de quatre contractions concentriques maximales des extenseurs et des fléchisseurs du genou sur le côté dominant à 180°/s puis du côté non-dominant après trois minutes de récupération. Après la première et la seconde session, les sujets disposaient de 45 minutes de récupération.

Nous avons testé le TDFM et l'AEM dans huit configurations : quadriceps du côté dominant à 60°/s, quadriceps du côté non-dominant à 60°/s, quadriceps du côté dominant à 180°/s, quadriceps du côté non-dominant à 180°/s, ischiojambiers du côté dominant à 60°/s, ischiojambiers du côté non-dominant à 60°/s, ischiojambiers du côté dominant à 180°/s et ischiojambiers du côté non-dominant à 180°/s. Les sujets avaient la consigne de travailler le plus fort possible sur l'amplitude articulaire totale du mouvement (0–90°).

2.2.3. Matériel

Nous avons utilisé un dynamomètre Cybex Orthotron KT[®] appartenant au centre médical Hélio-Marin de Vallauris, France. Le logiciel Humac Médimex[®] Windows a servi le recueil des données.

2.2.4. Analyse statistique

La normalité des caractéristiques des sujets a été vérifiée par le test de Kolmogorov-Smirnov. La reproductibilité absolue, définie comme le degré de variation de mesure répétée pour un même individu, est exprimée par le paramètre d'erreur standard de mesure (SEM). Le SEM représente le pourcentage de la valeur moyenne obtenue ($SEM(\%) = SEM(Nm)/\text{valeur moyenne des deux sessions}$). Un intervalle de confiance à 95 % pour la détermination des changements minimaux détectables était calculé par la formule : $\pm 1,96 \times \sqrt{2} \times SEM$. Le niveau de significativité d'un $p < 0,05$ était retenu. Ces analyses étaient réalisées avec le logiciel Statview[®] software (Version 5.0, SAS Institute, Inc., Cary, NC).

Pour le TDFM et l'AEM, la reproductibilité était testée par les coefficients de corrélation intra-classes (CCI) qui constituent des mesures relatives de reproductibilité [4]. Technique-

ment, ces coefficients sont des rapports de variances calculés avec des mesures répétées de type Anova. La valeur du CCI s'étend de 0 à 1, 0 indiquant une absence de reproductibilité et 1 correspondant au niveau maximal de reproductibilité. Les valeurs de CCI étaient considérées comme excellentes si supérieures à 0,9 et de bons niveaux entre 0,7–0,9.

Chaque mode de calcul de CCI comprend des avantages et des limites [32]. Afin d'obtenir une analyse la plus complète possible de la reproductibilité du TDFM et de l'AEM, nous avons calculé six types de CCI comme nous le proposent Shrout et Fleiss [29]. Dans un premier temps, il existe trois modèles généraux nommés 1, 2 et 3, et dépendant de l'échantillonnage des séries correspondant aux sujets. Pour chacun de ces modèles, deux CCI peuvent être définis. Si un score unique est utilisé, le CCI obtenu est désigné par le nombre 1. Si le score de chaque sujet est obtenu par moyenne entre les séries alors la lettre k est attribuée au CCI correspondant. Ainsi, nous obtenons six CCI respectivement notés : 1,1 ; 1,k ; 2,1 ; 2,k ; 3,1 and 3,k. Ces analyses ont été réalisées avec le logiciel Matlab[®].

2.3. Résultats

2.3.1. Pour le temps de développement de la force maximale, en extension

Pour le TDFM, en extension, du côté dominant à 60°/s, l'usage des six méthodes d'analyse fournit des valeurs de CCI comprises entre 0,85 et 0,86. Elles sont inférieures et comprises entre 0,51 et 0,76 à 180°/s (Tableau 3). À 60 et 180°/s, les valeurs de CV sont respectivement de 9,8 et 11,1 % et celles de SEM de 0,12 et 0,15 % (Tableau 2). Du côté non-dominant, les valeurs de CCI sont comprises entre 0,57 et 0,86 à 60°/s et entre 0,57 et 0,81 à 180°/s (Tableau 3).

Aux mêmes vitesses, les valeurs de CV sont respectivement de 8,1 et 10,3 % et celles de SEM de 0,08 et 0,13 % (Tableau 2).

Tableau 2

Valeurs d'erreur standard (SEM) et de coefficient de variation (CV) du temps de développement de la force maximale (TDFM) et de l'angle d'efficacité maximale (AEM) mesurées durant les mouvements de flexion et d'extension des cotés dominant et non-dominant à 60°/s and 180°/s.

	% SEM	% CV
<i>TDFM</i>		
Dom Ext 60	0,12	9,8
Dom Ext 180	0,15	11,1
Ndom Ext 60	0,08	8,1
Ndom Ext 180	0,13	10,3
Dom Fl 60	0,18	16,1
Dom Fl 180	0,16	14
Ndom Fl 60	0,15	13
Ndom Fl 180	0,15	14,7
<i>AEM</i>		
Dom Ext 60	0,05	4,5
Dom Ext 180	0,08	7,4
Ndom Ext 60	0,04	3,3
Ndom Ext 180	0,07	5,7
Dom Fl 60	0,15	11,7
Dom Fl 180	0,13	10,8
Ndom Fl 60	0,14	10,3
Ndom Fl 180	0,12	10,7

Tableau 3

Valeurs des coefficients de corrélation intra-classes (CCI) du temps de développement de la force maximale (TDFM) et de l'angle d'efficacité maximale (AEM) mesurées durant les mouvements de flexion et d'extension des cotés dominant et non-dominant à 60°/s and 180°/s.

EXT	TDFM dom 60	TDFM nd 60	TDFM dom 180	TDFM nd 180
1,l	0,65	0,57	0,51	0,57
1,k	0,85	0,80	0,76	0,80
2,l	0,65	0,59	0,51	0,58
2,k	0,85	0,81	0,76	0,80
3,l	0,66	0,68	0,51	0,59
3,k	0,86	0,86	0,75	0,81
FL	TDFM dom 60	TDFM nd 60	TDFM dom 180	TDFM nd 180
1,l	0,50	0,62	0,63	0,63
1,k	0,75	0,83	0,83	0,84
2,l	0,51	0,62	0,63	0,64
2,k	0,76	0,83	0,83	0,84
3,l	0,55	0,62	0,62	0,67
3,k	0,78	0,83	0,83	0,86
EXT	AEM dom 60	AEM nd 60	AEM dom 180	AEM nd 180
1,l	0,61	0,60	0,46	0,48
1,k	0,82	0,82	0,72	0,74
2,l	0,62	0,61	0,47	0,50
2,k	0,83	0,83	0,73	0,75
3,l	0,71	0,67	0,51	0,55
3,k	0,88	0,86	0,75	0,79
FL	AEM dom 60	AEM nd 60	AEM dom 180	AEM nd 180
1,l	0,51	0,67	0,57	0,54
1,k	0,76	0,86	0,80	0,78
2,l	0,53	0,67	0,57	0,55
2,k	0,77	0,86	0,80	0,78
3,l	0,59	0,68	0,57	0,56
3,k	0,81	0,86	0,80	0,79

D'un point de vue isocinétique, lors des trois tests du côté dominant, nous observons des valeurs comprises entre 0,38 et 0,41 secondes à 60°/s et entre 0,18 et 0,19 secondes à 180°/s. Du côté opposé, les valeurs sont situées entre 0,38 et 0,43 secondes à 60°/s et entre 0,19 et 0,20 secondes à 180°/s (Fig. 1).

2.3.2. Pour le temps de développement de la force maximale, en flexion

Pour le TDFM en flexion, du côté dominant à 60°/s, nous observons des valeurs de CCI comprises entre 0,50 et 0,78. Elles sont comprises entre 0,63 et 0,83 à 180°/s (Tableau 3). À 60 et 180°/s, les valeurs de CV sont respectivement de 16,1 et 14 % et celles de SEM de 0,18 et 0,16 % (Tableau 2). Du côté non-dominant, les valeurs de CCI sont situées entre 0,62 et 0,83 à 60°/s et entre 0,63 et 0,86 à 180°/s (Tableau 2). À ces vitesses, les valeurs de CV sont respectivement de 13 et 14,7 % et celles de SEM de 0,15 % par deux fois (Tableau 2). D'un point de vue isocinétique, lors des trois tests du côté dominant, nous observons des valeurs comprises entre 0,30 et 0,36 secondes à 60°/s et entre 0,18 et 0,19 secondes à 180°/s. Du côté opposé, les valeurs sont situées entre 0,33 et 0,35 secondes à 60°/s et entre 0,17 et 0,19 secondes à 180°/s (Fig. 1).

2.3.3. Pour l'angle d'efficacité maximale, en extension

Pour l'AEM, en extension, du côté dominant à 60°/s, les analyses fournissent des valeurs de CCI comprises entre 0,61 et 0,88. Elles sont comprises entre 0,46 et 0,75 à 180°/s (Tableau 3). À 60 et 180°/s, les valeurs de CV sont respectivement de 4,5 et 7,4 % et celles de SEM de 0,05 et 0,08 % (Tableau 2). Du côté non-dominant, les valeurs de CCI sont comprises entre 0,60 et 0,86 à 60°/s et entre 0,48 et 0,79 à 180°/s (Tableau 2). À ces deux vitesses, les valeurs de CV sont respectivement de 3,3 et 5,7 % et celles de SEM de 0,04 et 0,07 % (Tableau 2). D'un point de vue isocinétique, lors des trois tests du côté dominant, nous observons des valeurs comprises entre 59,9 et 63,6° à 60°/s et entre 53,6 et 57,3° à 180°/s. Du côté opposé, les valeurs sont situées entre 60,6 et 63,1° à 60°/s et entre 53,5 et 57,2° à 180°/s (Fig. 1).

2.3.4. Pour l'angle d'efficacité maximale, en flexion

Pour l'AEM en flexion, du côté dominant à 60°/s, nous observons des valeurs de CCI comprises entre 0,51 et 0,81. Elles sont comprises entre 0,57 et 0,80 à 180°/s. À 60 et 180°/s, les valeurs de CV sont respectivement de 11,7 et 10,8 % et celles de SEM de 0,15 et 0,13 % (Tableau 2). Du côté non-dominant, les valeurs de CCI sont situées entre 0,67 et 0,86 à 60°/s et entre 0,54 et 0,79 à 180°/s (Tableau 2). À ces deux vitesses, les valeurs de CV sont respectivement de 10,3 et 10,7 % et celles de SEM de 0,14 et 0,12 % (Tableau 2).

D'un point de vue isocinétique, lors des trois tests du côté dominant, nous observons des valeurs comprises entre 25,9 et 31,1° à 60°/s et entre 35,6 et 36,7° à 180°/s. Du côté opposé, les valeurs sont situées entre 27,5 et 29,2° à 60°/s et entre 34,6 et 37,6° à 180°/s (Fig. 1).

2.4. Interprétation

L'analyse globale permet de qualifier d'insuffisant le niveau de reproductibilité des deux paramètres de TDFM et d'AEM testés chez une population de jeunes sportifs. La méthode d'analyse s'appuie sur six modes de calcul plus ou moins exigeants et fournit donc des valeurs échelonnées. La valeur de reproductibilité, le plus souvent positionnée entre 0,60 et 0,80 pour le TDFM et entre 0,50 et 0,80 pour l'AEM, nécessite une analyse par paramètre et par groupe musculaire testés. Le recours au CV et au SEM complète l'analyse.

Chez ces sportifs, la reproductibilité du TDFM des quadriceps est supérieure à 60 qu'à 180°/s. Elle atteint 0,86 tant du côté dominant que du côté opposé avec une valeur basale à 0,57, ce qui incite à considérer ce niveau de reproductibilité comme insatisfaisant. À 180°/s, la reproductibilité est d'un niveau plus faible ce qui est envisageable si l'on considère que la résistance au mouvement est inférieure à vitesse rapide ce qui favorise plus tardivement la rencontre de celle-ci et que d'autre part le travail strictement isocinétique est moins long. [15,26]. De plus, nous pouvons émettre l'hypothèse que la typologie musculaire à dominante lente du groupe quadricipital puisse influencer un meilleur niveau de reproductibilité à une plus faible vitesse de travail. Quels que soient les justificatifs, nous considérerons donc que pour ce groupe musculaire les

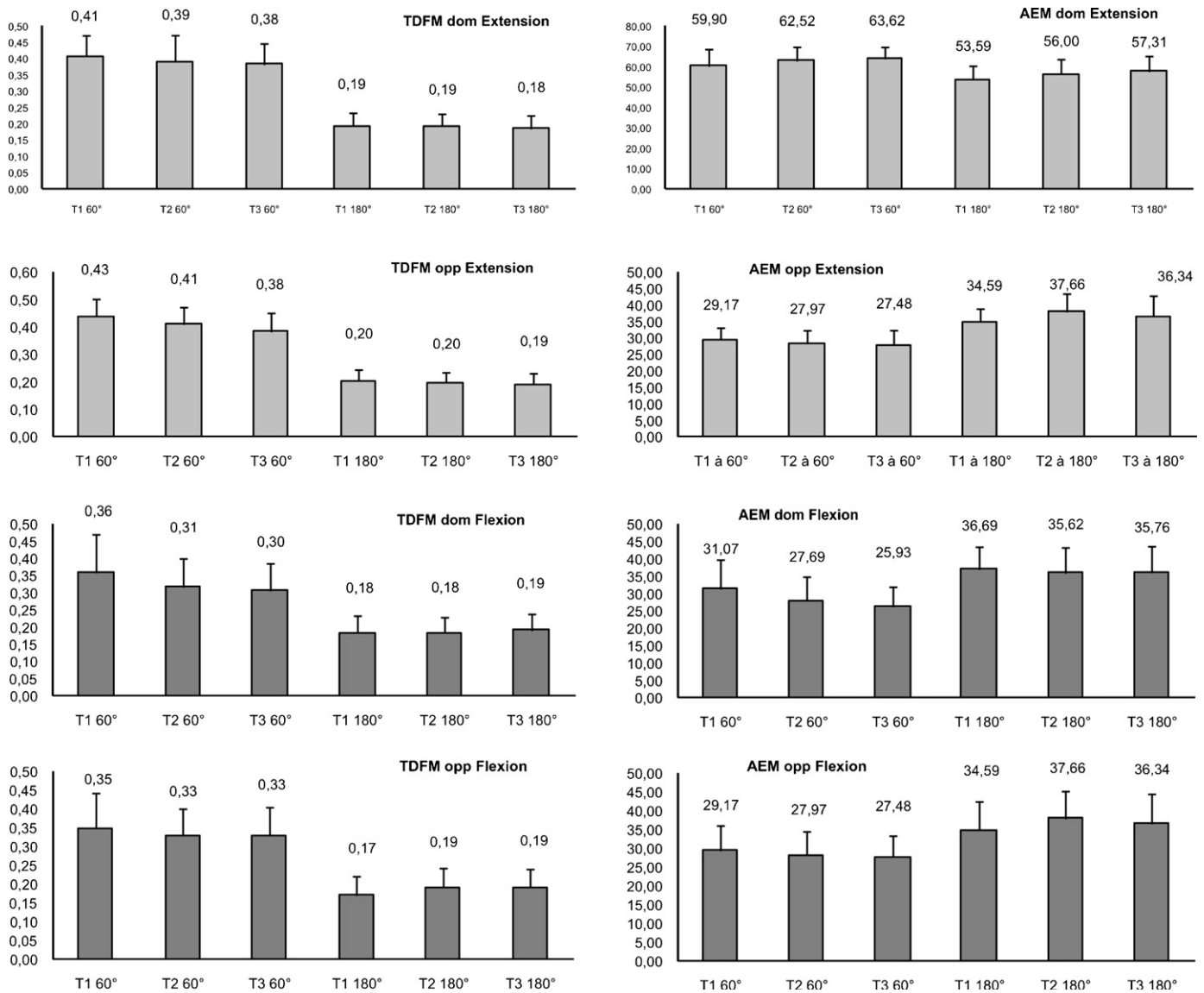


Fig. 1. Moyennes et écarts-types du temps de développement de la force maximale (TDFM) et de l'angle d'efficacité maximale (AEM) mesurés durant les mouvements de flexion et d'extension des cotés dominant et non-dominant à 60°/s and 180°/s.

meilleures conditions méthodologiques sont réunies à une vitesse d'évaluation plus lente. Pour ce qui concerne les ischiojambiers, fléchisseurs du genou, les niveaux de reproductibilité semblent être à l'inverse des quadriceps, légèrement meilleurs à la vitesse rapide de 180°/s avec des valeurs proches des deux côtés controlatéraux et situées entre 0,62 et 0,86. Ils sont donc moins bons à vitesse lente en s'échelonnant entre 0,50 à 60°/s du côté dominant pour le mode de calcul le plus critique et 0,83 du côté opposé pour le mode le plus tolérant.

En synthèse, au regard de son niveau de reproductibilité, nous considérerons que le TDFM est un paramètre dont le niveau de reproductibilité est insuffisant pour participer à la caractérisation des adaptations musculaires du sportif. Ce trop faible niveau de reproductibilité confirme les travaux réalisés chez des sujets sains [7] et chez un groupe de 24 jeunes femmes [21] et sont donc en contradiction avec les travaux mettant en évidence une reproductibilité satisfaisante chez un groupe de

18 femmes âgées [2] et pour un groupe de 178 sujets de 45 à 78 ans [13].

À titre clinique, mais limité d'un point de vue méthodologique comme nous venons de le mettre en évidence, ce paramètre de TDFM est classiquement retenu dans l'identification des qualités physiques du sportif. Il peut-être assimilé à une des composantes de la force qu'est l'explosivité. De part leur validation et ce qu'ils représentent, les paramètres de force maximale et de travail caractérisent classiquement les capacités fonctionnelles tandis que les variables de nature d'exercice, d'intensité, de durée et de fréquence complètent la caractérisation des charges d'entraînement et des comportements individuels. Avec de tels niveaux de reproductibilité obtenus par les calculs d'ICC, il est nécessaire de rester critique sur l'intégration du TDFM à l'objectivation des qualités musculaires individuelles. Les valeurs de CV comprises entre 8,1 et 16,1 % et supérieures à 10 % dans six des huit conditions de

tests (Tableau 2) ainsi que les valeurs de SEM globalement proches de 0,15 % confirment le niveau méthodologique insuffisant.

Plus encore, il faut être critique quant à la validité du TDFM à servir l'identification d'éventuelles causes de dysfonctionnements en relation avec la capacité à créer une brusque variation de vitesse. Cette accélération créée et subie au niveau musculo-articulaire nécessite tout à la fois l'intégrité des structures périarticulaires assurant un travail physiologique et un contrôle nerveux du mouvement qui va idéalement de pair avec l'efficacité motrice. Les notions de sens de la position et de sens du mouvement qui mobilisent la proprioception et le traitement des informations d'origine kinesthésiques participent à cette régulation. Dans certains sports de lancer ou de frappe mobilisant le membre supérieur tel que le base-ball ou le tennis, de nombreux travaux recherchent l'identification des causes de pathologies chroniques. L'explosivité est une qualité musculaire recherchée lorsqu'elle est source de performance tout en contrôlant le développement. Conscient des contraintes qui s'appliquent au niveau musculo-articulaire lors de gestes répétés à variations de vitesses élevées, nous considérons que le TDFM est une valeur limitée dans la recherche de compréhension et le contrôle des adaptations afin de servir la programmation de l'entraînement intégrant l'optimisation et la prévention.

Une approche critique est nécessaire à propos des relations entre « explosivité » et le paramètre isocinétique de TDFM [18]. Nous avons aussi besoin d'approfondir la compréhension des relations entre la composition typologique et la force isocinétique caractérisée par le couple maximal [12,14]. De plus, diverses études présentent des relations non-significatives entre les valeurs isocinétiques de force et des performances sportives réalisées à différents niveaux de vitesses et lors de mouvements anisocinétiques [5,19,20,28,33]. Aussi, au regard de ces limites et des niveaux de reproductibilité mesurés lors de notre étude, nous pouvons douter de la validité du paramètre de TDFM.

Pour ce qui concerne l'AEM, son niveau de reproductibilité testé par les CCI est globalement inférieur à celui du TDFM. Pour les quadriceps, il passe sous les 0,50 à 180°/s dans les conditions d'analyse de reproductibilité les plus critiques et ce pour les deux côtés testés (0,46 et 0,48). À 60°/s, la reproductibilité est d'un meilleur niveau et positionnée entre 0,60 et 0,86 de CCI, ce qui confirme l'observation réalisée avec le TDFM d'un meilleur reproductibilité des quadriceps à vitesse lente. Pour les ischiojambiers, les conditions les plus critiques de calcul mettent en évidence de faibles niveaux de reproductibilité situés entre 0,50 et 0,60 dans trois des quatre conditions de test et inférieurs à ceux mesurés pour le TDFM tandis qu'il semble exister moins d'influence de la vitesse de test sur la valeur de CCI.

Sa valeur diagnostic est tout autre et donc complémentaire de celle de l'explosivité. La détermination de l'angle de survenue de la force maximale est directement dépendante du montage de l'articulation, du groupe musculaire testé, de la nature de la pratique (endurance vs force maximale) ou encore du niveau de pratique. De manière plus affirmative que pour le TDFM, il faut considérer la faible valeur méthodologique de

reproductibilité de l'AEM testé sur une population de jeunes sportifs de niveau national. Ces résultats confirment les réserves présentes dans la littérature quant à la faible reproductibilité de l'AEM [7,31].

Cette étude comporte certaines limites qui justifieraient d'adaptations. Nous n'avons retenu que deux vitesses de test alors qu'un plus grand nombre définirait les conditions optimales d'application. Pour ce qui concerne la population, le nombre est satisfaisant mais les profils de sportifs sont hétérogènes. Il serait pertinent de définir précisément l'influence d'une pratique sportive sur la reproductibilité des valeurs de force développée. Ainsi, nous pouvons émettre l'hypothèse que la pratique de la natation, avec dans l'eau une résistance à l'avancement qui augmente avec le carré de la vitesse, prédispose les nageurs à mieux maîtriser l'exercice isocinétique et sa répétition. L'application à des personnes plus âgées ou à des personnes en phase de réhabilitation constitue aussi des perspectives.

2.5. Conclusion

Nos résultats indiquent que les valeurs de reproductibilité du TDFM ne sont pas suffisantes pour caractériser les adaptations musculaires des fléchisseurs et des extenseurs du genou de sportifs. Au regard des faibles niveaux de reproductibilité obtenus par le calcul des CCI, de même que par le SEM et le CV, un usage limité du TDFM est recommandé pour caractériser les qualités musculaires individuelles.

La reproductibilité de l'AEM était globalement inférieure à celle du TDFM. Pour l'AEM, la faible valeur méthodologique de reproductibilité obtenue par les calculs de CCI, de SEM et de CV pour notre population de sportifs de niveau national confirme les données mises en évidence par plusieurs travaux.

Déclaration d'intérêts

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

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier le Dr F. Lemoine et l'équipe du centre Hélio-Marin de Vallauris pour leur participation et l'accès au dynamomètre.

References

- [1] Bohannon RW, Smith MB. Intrasession reliability of angle specific knee extension torque measurements with gravity corrections. *J Orthop Sports Phys Ther* 1989;11:155–7.
- [2] Capranica LM, Battenti M, Demarie S, Figura F. Reliability of isokinetic knee extension and flexion testing in elderly women. *J Sports Med Phys Fitness* 1998;38:169–76.
- [3] Casartelli N, Müller R, Maffioletti NA. Validity and reliability of the Myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height. *J Strength Cond Res* 2010;24(11):3186–93.
- [4] Chinn S, Burney PG. On measuring repeatability of data from self-administered questionnaires. *Int J Epidemiol* 1987;16:121–7.

- [5] Counsilman JE. La mécanique des mouvements de nage et les théories de la recherche dans le domaine de l'entraînement. In: La natation en compétition. Ed. Vigot; 1986. p. 17–97.
- [6] Coyle EF, Costill DL, Lesmes GR. Leg extension power and muscle fiber composition. *Med Sci Sports* 1979;11(1):12–5.
- [7] Croisier JL, Crielaard JM. Exploration isocinétique : analyse des paramètres chiffrés. *Ann Readapt Med Phys* 1999;42:538–45.
- [8] Davies GJ, Heiderscheit BC. Reliability of the Lido Linea closed kinetic chain isokinetic dynamometer. *J Orthop Sports Phys Ther* 1997;25:133–6.
- [9] Dvorak J, Junge A, Chomiak J, Graf-Baumann T, Peterson L, Rösch D, et al. Risk factor analysis for injuries in football players. Possibilities for prevention program. *Am J Sports Med* 2000;28:69–74.
- [10] Feiring DC, Ellenbecker TS, Dercheid GL. Test-retest reliability of the Biodex isokinetic dynamometer. *J Orthop Sports Phys Ther* 1990;11:298–300.
- [11] Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ, Escamilla RF. Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sports Med* 1995;23:233–9.
- [12] Froese EA, Houston ME. Torque-velocity characteristics and muscle fiber type in human vastus lateralis. *J Appl Physiol* 1985;59(2):309–14.
- [13] Frontera WR, Hugues VA, Dallal GE, Evans WJ. Reliability of isokinetic muscle strength in 45- to 78-year-old men and women. *Arch Phys Med Rehabil* 1993;74:1181–5.
- [14] Gulch RW. Force-velocity relations in human skeletal muscle. *Int J Sports Med* 1994;15(Suppl 1):S2–10.
- [15] Heuleu JN, Codine P, Simon L. Isocinétisme et médecine de rééducation. Ed. Problèmes en médecine de rééducation, Masson; 1991.
- [16] Impellizzeri FM, Bizzini M, Rampinini E, Cereda F, Maffiuletti NA. Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex Norm dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging* 2008;28:113–9.
- [17] Julia M, Dupeyron A, Laffont I, Parisaux JM, Lemoine F, Bousquet PJ, et al. Reproducibility of isokinetic peak torque assessments of the hip flexor and extensor muscles. *Ann Phys Rehab Med* 2010;53:293–305.
- [18] Kannus P. Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med* 1994;15:11–8.
- [19] Lawton TW, Cronin JB, McGuigan MR. Strength testing and training a rowers: a review. *Sports Med* 2011;41(5):413–32.
- [20] Lehance C, Binet J, Bury T. Muscular strength, functional performances and injury risks in professional and junior elite soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 2009;19(2):243–51.
- [21] Madsen OR, Torque. total work, power, torque acceleration energy and acceleration time assessed on a dynamometer: reliability of knee and elbow extensor and flexor strength measurement. *Eur J Appl Physiol* 1996;74:206–10.
- [22] Negrete RJ, Hanney WJ, Kolber MJ, Davies GJ, Ansley MK, McBride AB, et al. Reliability, minimal detectable change, and normative values for tests of upper extremity function and power. *J Strength Cond Res* 2010;24(12):3318–25.
- [23] Orchard J, Marsden J, Lord S, Garlick D. Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med* 1997;25:81–5.
- [24] Östenberg A, Roos H. Injury risk factors in female European football. A prospective study of 123 players during one season. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10:279–85.
- [25] Pitetti KH. A reliable isokinetic strength test for arm and leg musculature for mildly mentally retarded adults. *Arch Phys Med Rehabil* 1990;4:669–72.
- [26] Pocholle M, Codine M. Isocinétisme et médecine du Sport. Ed. Abrégés. Masson; 1998.
- [27] Saenz A, Avellanet M, Hijos E, Chaler J, Garreta R, Pujol E, et al. Knee isokinetic test-retest: a multicentre knee isokinetic test-retest study of fatigue protocole. *Eur J Phys Rehab Med* 2010;46(1):81–8.
- [28] Segerström AB, Holmback AM, Hansson O, Elgzyri T, Eriksson KF, Ringsberg K, et al. Relation between cycling exercise capacity, fiber-type composition and lower extremity muscle strength and muscle endurance. *J Strength Cond Res* 2011;25(1):16–22.
- [29] Shrout PAF, Fleiss JL. Intraclass correlation: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull* 1979;85:420–8.
- [30] Söderman K, Alfredson H, Pietilä T, Werner S. Risk factor for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation during one out-door season. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001;9:313–21.
- [31] Steiner LA, Harris BA, Krebs DE. Reliability of eccentric isokinetic knee flexion and extension measurements. *Arch Phys Med Rehabil* 1993;74:1327–35.
- [32] Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res* 2005;19:231–40.
- [33] Wormgoor S, Harden L, McKinnon W. Anthropometric, biomechanical and isokinetic strength predictors of ball release speed in high-performance cricket fast bowlers. *J Sports Sci* 2010;28(9):957–65.