

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

IZOKINETICKÉ TESTOVÁNÍ A TRÉNINK  
SVALOVÉ SÍLY

Diplomová práce

(bakalářská)

Autor: Pavel Štolfa, tělesná výchova a sport

Vedoucí práce: doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.

Olomouc 2012

## Bibliografická identifikace

**Jméno a příjmení autora:** Pavel Štolfa

**Název diplomové práce:** Izokinetické testování a trénink svalové síly

**Pracoviště:** Katedra sportu

**Vedoucí:** doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.

**Rok obhajoby:** 2012

**Abstrakt:** Cílem bakalářské práce je prezentovat současné poznatky o izokinetickém testování a tréninku síly s důrazem na flexory a extenzory kolena. V části věnované problematice testování jsou uvedeny především základní aspekty testování, zásady pro realizaci izokinetického testování, specifika testování segmentů dolních končetin, především flexorů a extenzorů kolena. V části zabývající se tréninkem síly jsou prezentována pravidla sestavení izokinetického tréninku, efekt různých rychlostí na rozvoj svalové síly, fyziologické mechanismy, principy a specifika tréninku. V práci uvedené poznatky a doporučení pro testování a tvorbu tréninku umožňují pochopení základních aspektů problematiky a jsou základem pro efektivní využívání izokinetiky ve výzkumné činnosti a v praxi.

**Klíčová slova:** izokinetický trénink, testování, izokinetika, svalová síla, kolenní kloub.

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

## Bibliographical identification

**Author's first name and surname:** Pavel Štolfa

**Title of the thesis:** Isokinetic testing and training of muscle strength

**Department:** Department of sports

**Supervisor:** doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.

**Year of presentation:** 2012

**Abstract:** The aim of this paper is to present current knowledge of isokinetic testing and strength training with emphasis on the knee flexors and extensors. In the part devoted to the testing listed above all basic aspects of testing, the principles for the implementation of isokinetic testing, testing specific segments of the lower limbs, especially the knee flexors and extensors. The section dealing with training includes preparation training, the effect of different speeds on the development of muscular strength, physiological mechanisms, principles and specificity of training. The recommendations for the creation of testing and training facilitate understanding of the basic aspects and practical applications

**Keywords:** isokinetic training, testing, isokinetics, muscle strength, knee joint.

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně s odbornou pomocí doc. PaedDr. Michala Lehnerta, Dr., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a řídil se zásadami vědecké etiky.

V Olomouci dne 28.8.2012

.....

Děkuji vedoucímu práce doc. PaedDr. Michalu Lehnertovi, Dr. za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování bakalářské práce.

## Obsah

1 ÚVOD.....	8
2 CÍLE A ÚKOLY .....	9
2.1 CÍLE PRÁCE .....	9
2.2 ÚKOLY PRÁCE .....	9
3 METODIKA .....	10
4 ZÁKLADNÍ ASPEKTY IZOKINETIKY A TESTOVÁNÍ .....	11
4.1 IZOKINETIKA .....	11
4.2 HISTORIE IZOKINETIKY.....	11
4.3 IZOKINETICKÁ DYNAMOMETRIE .....	12
4.4 ASPEKTY IZOKINETICKÉHO TESTOVÁNÍ .....	14
4.5 ZÁSADY PRO REALIZACI IZOKINETICKÉHO TESTOVÁNÍ .....	17
4.6 TYPY SVALOVÉ ČINNOSTI PŘI IZOKINETICKÉM TESTOVÁNÍ.....	19
4.7 OTEVŘENÉ A UZAVŘENÉ KINETICKÉ ŘETĚZCE .....	20
4.8 TESTOVANÉ SEGMENTY DOLNÍCH KONČETIN .....	21
5 IZOKINETICKÉ TESTOVÁNÍ EXTENZORŮ A FLEXORŮ KOLENA .....	25
5.1 VYŠETŘENÍ POMĚRU SÍLY FLEXORŮ K EXTENZORŮM KOLENA .....	28
5.2 UNILATERALITA .....	29
5.3 NORMY A VÝSLEDKY SPORTUJÍCÍ A NESPORTUJÍCÍ POPULACE .....	31
5.4 TESTOVÝ PROGRAM EXTENZORŮ A FLEXORŮ KOLENA.....	33
5.5 VLASTNÍ SHRNUTÍ POZNATKŮ O IZOKINETICKÉM TESTOVÁNÍ .....	35
6 IZOKINETICKÝ TRÉNINK FLEXORŮ A EXTENZORŮ KOLENA .....	36
6.1 SESTAVENÍ TRÉNINKU .....	36

6.2	EFEKT RŮZNÝCH RYCHLOSTÍ NA SVALOVOU SÍLU A VÝKON .....	38
6.3	FYZIOLOGICKÉ MECHANIZMY .....	39
6.4	SPECIFIČNOST IZOKINETICKÉHO TRÉNINKU FLEXORŮ A EXTENZORŮ KOLENA ..	40
6.4	PRINCIPY IZOKINETICKÉHO TRÉNINKU FLEXORŮ A EXTENZORŮ KOLENA.....	42
6.6	VÝCHODISKA PRO SESTAVENÍ TRÉNINKOVÉHO PROGRAMU FLEXORŮ A EXTENZORŮ KOLENA .....	43
6.7	VLASTNÍ SHRNUÍ POZNATKŮ O IZOKINETICKÉM TRÉNINKU .....	48
7	ZÁVĚRY .....	49
8	SOUHRN .....	50
9	SUMMARY .....	51
10	REFERENČNÍ SEZNAM .....	52
11	PŘÍLOHY .....	56

# 1 ÚVOD

Jedním z projevů života člověka je pohyb, který je zprostředkován kosterním svalstvem a jeho činností. Rozvoj kosterního svalstva a především svalové síly je pak důležitý pro celou řadu sportovních odvětví. V současnosti se využívá široké spektrum metod, které vedou k rozvoji této schopnosti. Svalová síla je považována za jeden z determinantů sportovního výkonu.

Izokinetický trénink umožňuje procvičení svalu blízko jeho maximální síly v celém rozsahu pohybu v kloubu a nejčastěji se používá jako doplněk tréninkových programů. Pomocí přístroje IsoMed 2000 (D. & R. Ferstl GmbH, Hemau, Germany) je možné diagnostikovat silové schopnosti s využitím izokinetické dynamometrie a na základě doporučení vytvořit specifický izokinetický tréninku pro mnohá sportovní odvětví. Tento přístroj vlastní jako jediná univerzita v České republice Univerzita Palackého v Olomouci

Téma bakalářské práce jsem si zvolil proto, že již dlouhodobě spolupracuji při měření na přístroji IsoMed 2000 (D. & R. Ferstl GmbH, Hemau, Germany). Vzhledem k tomu, že oblast izokinetiky není v České republice zcela známá, vidím v ní velký prostor k ověřování řady problémů, týkajících se diagnostiky i samotného izokinetického tréninku. V tomto trendu bych chtěl dále pokračovat ve své diplomové práci, kde bych se rád zabýval i dalšími tréninkovými programy a rozvíjel dále aktuální problematiku. Zpracování syntézy poznatků z oblasti izokinetiky považuji za východisko ke stanovení a řešení budoucích úkolů, spojených s izokinetickým testováním a tréninkem.



## **2 CÍLE A ÚKOLY**

### **2.1 CÍLE PRÁCE**

Cílem této bakalářské práce je prezentovat současné poznatky o izokinetice, izokinetickém testování a izokinetickém tréninku s důrazem na flexory a extenzory kolena.

### **2.2 ÚKOLY PRÁCE**

1. Shromáždit a analyzovat odbornou literaturu vztahující se k problematice izokinetiky, izokinetického testování lidského těla.
2. Shromáždit a analyzovat současné poznatky o izokinetickém testování a tréninku se zaměřením na svalovou sílu flexorů a extenzorů kolena.
3. Přispět k vytvoření teoretické báze pro zefektivnění realizace izokinetického testování a ověřování izokinetických tréninkových programů na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého.

### 3 METODIKA

Analýza historických pramenů a syntéza poznatků vychází především z odborné literatury, zaměřené na oblasti izokinetiky, diagnostiky, izokinetického testování a tréninku. Pro uvedení příkladů testování bylo využito internetových světových sportovních databází EBSCO, Sportdiscus, PROQUEST a elektronická knihovna odborných časopisů, která je součástí služeb knihovny Univerzity Palackého v Olomouci. K vyhledávání v databázích byla použita tyto klíčová slova: „*isokinetic training, strength, isokinetics*“. Při sestavování doporučených izokinetických tréninků a testových baterií jsem také využil metodu introspektivní, a to díky svým dosavadním zkušenostem s izokinetickým přístrojem IsoMed 2000 (D. & R. Ferstl GmbH, Hemau, Germany). Při tvorbě bakalářské práce byl uplatněn normativní přístup a metody analýzy a syntézy dosavadních poznatků.

## **4 ZÁKLADNÍ ASPEKTY IZOKINETIKY A TESTOVÁNÍ**

### **4.1 IZOKINETIKA**

Pojem „izokinetika“ je definován, jako dynamická svalová kontrakce, při které je rychlost pohybu udržována a kontrolována pomocí speciálního zařízení (Thistle, Hislop, Moffroid & Lowman, 1967).

Pojem „izokinetika“ se nejčastěji používá ve sportovní vědě a medicíně, kde popisuje nejčastěji typ cvičení, či pohybu. Doslovně přeloženo z anglického jazyka „isokinetic“ znamená pohyb s konstantní rychlostí. Rychlost pohybu zůstává zachována dokonce i v případě, že se zvyšuje odpor (Spencer – Wimpenny, 2010).

Dvir (2004) popisuje „izokinetický pohyb“ jako pohyb, při kterém se sval nebo svalové skupiny pohybují konstantní úhlovou nebo lineární rychlostí ve stanoveném rozsahu pohybu a působí proti řízenému, přizpůsobujícímu se odporu, který brzdí pohyb končetiny, či segmentu.

Hislop a Perinne (1967) srovnávali svalové zatížení během izokinetického a izotonického (nekontrovaná rychlost) testování. Během izotonického testování bylo zatížení maximální např. na hranici rozsahu pohybu v koleni. Oproti tomu izokinetické testování a trénink jsou výhodné tím, že maximální zatížení je produkováno v celém rozsahu pohybu.

### **4.2 HISTORIE IZOKINETIKY**

Izokinetický pohyb se začal zkoumat na konci šedesátých let minulého století. Poprvé byl představen dvěma Německými fyziology (Muller & Hettinger, 1958). Izokinetický pohyb umožňoval oproti jiným druhům pohybu provést svalovou kontrakci blízko maximu v celém rozsahu pohybu kloubu. Původně se jednalo o „vstřícný odpor pohybu“, který se rovnal změně momentu síly v každém bodě rozsahu pohybu (ROM). Vybavenost laboratoří izokinetickými přístroji byla zpočátku malá a tyto přístroje

neposkytovaly adekvátní zpětnou vazbu. Výsledky tedy nemohly být považovány za jediný ukazatel. V 70. letech 20. století přišly na trh první izokinetické přístroje. V roce 1967 představil J. Perrine svůj přístroj s kontrolovatelnou rychlostí pohybu. Toto zařízení bylo popsáno jako „kybernetické cvičení“ a nechal si ho patentovat pod názvem „Cybex 1“ (Spencer – Wimpenny, 2010).

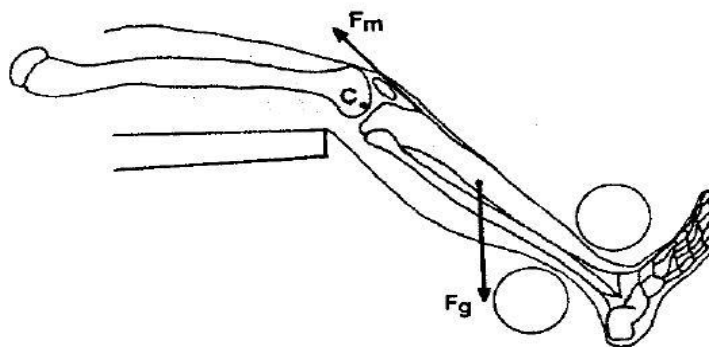
Nové přístroje však dokázaly provést pouze koncentrickou svalovou činnost. Teprve až s rozvojem nových technologií, zejména pak rozvoj počítačové techniky, se začaly vyrábět přístroje, které byly schopny díky servomotorům a řízení mikroprocesory, zvládnout i složitější procesy, jako činnost koncentricko – koncentrickou, excentrickou, excentricko – excentrickou, či koncentricko – excentrickou svalovou činnost. Tyto změny také přispěly ke zkvalitnění měření, věrohodnějším výsledkům a k jejich okamžité zpětnovazební analýze. Přístroje začaly poskytovat možnosti přednastavení rozsahu pohybu, realizace cvičení pro širokou škálu probandů i netrénovaných, či probandů v rekonvalescenci. Díky těmto změnám se o izokinetické testování a trénink začalo zajímat stále více vědců (Dvir, 2004; Perrin, 1993).

V současnosti je obor izokinetiky významnou součástí diagnostiky i tréninku v řadě oblastí rehabilitace a sportu. Na trhu můžeme nalézt řadu výrobků, které se od sebe odlišují zejména v oblasti použité technologie a ceny. Pokrokem ve vývoji byla také úspěšná implementace přídavných zařízení, jako je EMG (elektromyografie). Na trhu je několik zařízení, sloužících k diagnostice, např. Cybex, IsoMed 2000 (D. & R. Ferstl GmbH, Hemau, Germany), Kin-Com.

### **4.3 IZOKINETICKÁ DYNAMOMETRIE**

Izokinetická dynamometrie (ID) je metoda diagnostiky svalové síly při proměnlivém odporu zátěže. Často se tato diagnostika využívá při realizaci izokinetického (IK) tréninku. Rychlost pohybu je udržována konstantní, pomocí speciálního přístroje, dynamometru. Odpor dynamometru je pak roven velikosti svalové síly v celém rozsahu pohybu. Využití ID je praktikováno téměř výhradně k měření svalové síly v dynamických podmínkách a poskytuje optimální zatížení svalů. Při měření však nejsou podstatné pouze fyziologické a mechanické faktory, ale také faktory psychologické. Objektivní výsledky jsou dosahovány

tehdy, zda je testovaná osoba (TO) správně motivována a ochotna spolupracovat. Během pohybu ve vertikální rovině, je výsledný moment na dynamometru produkovaný svalovou silou  $F_m$  a gravitační silou  $F_g$  (Obrázek 1). Chyba měření, vycházející z hmotnosti segmentu, závisí na aktuálním úhlu v kloubu a potenciálním točivém momentu hodnocené svalové skupiny. Pro opravu chyb, vzniklých gravitační silou  $F_g$  při izokinetickém testování, byla postupně vyvinuta řada metod. Točivý moment obsahuje také chyby, které jsou spojeny se setrvačnými silami při akceleraci a deceleraci, před či po dosažení předvolené konstantní úhlové rychlosti. Pro přesné posouzení svalové funkce by měly být použity pouze data s konstantní úhlovou rychlostí. Jedinečné vlastnosti ID poskytují bezpečnost při rehabilitaci pacientů se svalovými a vazivovými zraněními. ID se využívá také pro procvičení různých svalových skupin s cílem zlepšit svalový výkon v dynamických podmínkách. Rychlost provedení pohybu při různých činnostech může být simulována během tréninku za účelem zlepšení tréninkového efektu (Baltzopoulos & Brodie, 1989).



**Obrázek 1.** Působení svalové síly,  $F_m$ , a gravitační síly,  $F_g$ , během izokinetického testování extenze v kolenní (Baltzopoulos & Brodie, 1989).

## **4.4 ASPEKTY IZOKINETICKÉHO TESTOVÁNÍ**

IK testování svalové síly je využíváno k hodnocení efektů tréninkových programů, především však k identifikování svalových oslabení nebo jejich kompenzací. Využití najde také při identifikaci dysbalancí a profylaxi zranění (Baltzopoulos & Brodie, 1989; Brown, 2000).

Söderman a Lindström (2010) dále zdůrazňují, že IK testování je často využíváno k vyhodnocování vlivu různých typů chirurgických zásahů a k vysvětlení, zda je jedinec schopen vrátit se k fyzické aktivitě.

IK testování zahrnuje provádění cvičení, která obsahují svalové kontrakce, při nichž se délka svalu mění při konstantní rychlosti pohybu. Teoreticky je odpor pohybu poskytován v celém rozsahu pohybu stroje s předem nastavenou rychlostí. Proto klíčem k IK cvičení není velikost odporu, ale rychlost, kterou může být odpor přetlačen, či brzděn.

IK testování poskytuje sportovcům užitečné informace. Ty by měly být zohledněny při rozhodování o dalších tréninkových metodách a strategiích. Výsledky studií ukazují, že při nízké relativní hodnotě momentu síly, je pro sportovce důležité silové cvičení. Pokud je naměřena nízká hodnota práce, poukazují výsledky na deficit silové vytrvalosti. Nízký výkon pak poukazuje na potřebu využívání výbušných technik. Křivka momentu síly může odhalit slabá místa v průběhu pohybu apod. (Brown, 2000; Dvir, 2004).

### **Specifičnost izokinetického testování**

Izokinetické testování svalové síly a výkonu přímo nesouvisí s funkčností svalů. Pohyby prováděné při konstantní rychlosti jsou často zcela odlišné od většiny sportovních činností, kde jsou velká zrychlení střídána vysokou rychlostí pohybu končetin, které nemohou být reprodukovány pomocí dnešních dynamometrů. V reálném světě dochází ke vzájemnému působení více kloubních spojení a svalových systémů, na rozdíl od většiny IK testů, které se vyskytují na jednotlivých kloubních spojiích. Je třeba říci, že různé činnosti vyžadují různé úrovně způsobilosti v mnoha oblastech. Nelze tedy otestovat různé soubory sportovců stejným způsobem. Z toho důvodu je zřejmé, že IK testování se nehodí

k otestování široké populace a zároveň nelze testovat sportovce z různorodých sportovních odvětví stejným způsobem (Spencer – Wimpenny, 2010).

V řadě studií bylo prokázáno, že výsledky ID ukazují vysokou spolehlivost (Brown, 2000, Dvir 2004).

Pro určení ideálního modelu testování pro hodnocení IK svalové síly je třeba jej porovnat s mnoha sportovními výkony. IK koncentrické a excentrické akce by měly být posouzeny s i bez izometrické pre-aktivace (Perrin, 1993).

Dvir (2004) uvádí nejčastěji měřené veličiny při IK testování:

- **Moment síly (torque, [Nm])** – je výsledkem produkce svalové síly při určité úhlové rychlosti. Lze jej měřit v celém rozsahu pohybu. Hodnota momentu síly může být udána jako maximální (peak torque) nebo jako hodnota průměrná (average torque).
- **Úhel maximálního momentu síly (angle of the peak torque, [°])** – odpovídá pozici segmentu, při které se dosahuje nejvyššího momentu síly. Je specifický pro různé typy cvičení. Slabší svaly (pravděpodobně v důsledku neuromuskulární facilitace) produkují moment síly v ROM později.
- **Svalová práce (work, [J])** – je definována jako svalová síla působící na určité dráze. Vyjadřuje tedy množství svalového napětí, které je vyprodukováno během svalové kontrakce, vypočítá se ze známých hodnot síly a rozsahu pohybu. Odráží míru vytrvalosti. Uvádí se v maximálních (peak work), či průměrných (average work) hodnotách.
- **Výkon (power, [W])** – odpovídá množství práce vyprodukované za jednotku času. Měření výkonu je z vědeckého hlediska vykonáváno proto, aby bylo prokázáno zlepšení ve sportovních činnostech, které nejsou omezeny maximální silou. Je udávána v maximálních hodnotách (peak power) nebo v průměrných hodnotách (average power).

## **Vztah izokinetického testování ke sportovnímu tréninku**

IK testování má pro sportovce velký význam, dokáže totiž poskytnout celou řadu cenných informací. Obvykle se využívá testování během celého ročního tréninkového cyklu. Například ve fotbalu se provádí testování před začátkem, v průběhu a po skončení soutěžního období. Výsledkem testování je aktuální úroveň síly, silové vytrvalosti, výkon sportovce, či další hodnoty poukazující na případné nedostatky ve sportovní přípravě sportovce. Výsledná analýza dat je využita při vytváření nových tréninkových programů, které již budou obsahovat taková cvičení a techniky, které budou napomáhat ke zvyšování sportovního výkonu sportovce, chránit jej před zraněními, či eliminovat zjištěné slabiny sportovce (Brown, 2000).

## **Základní faktory IK testování**

Brown (2000) zmiňuje řadu faktorů, které ovlivňují výsledky IK testování a člení je na faktory vztahující se k subjektu a faktory vztahující se k pohybu.

Mezi faktory vztahující se k subjektu můžeme řadit:

- věk,
- hmotnost (z důvodů vyjádření hodnot relativní síly, tj. poměr síla/hmotnost),
- pohlaví,
- trénovanost probanda,
- prevence zranění,
- dominance končetin.

Mezi faktory vztahující se k pohybu můžeme řadit:

- typ svalové činnosti (koncentrická, excentrická),
- úhel v kloubu,
- testový mód (izokinetický, izometrický),
- úhlová, či lineární rychlost,
- měřený segment těla.



## 4.5 ZÁSADY PRO REALIZACI IZOKINETICKÉHO TESTOVÁNÍ

Aby bylo testování optimalizováno a získaná data byla využitelná, je nezbytné dodržet postup realizace měření tak, aby byla zajištěna jeho validita a reliabilita. Podle Browna (2000) se realizace skládá z následujících procedur:

- **Účel testování**

Jako účel testování se rozumí cíl měření s ohledem na specifické vlastnosti sportovního odvětví, měřeného segmentu a potřeb tréninku probanda.

- **Příprava a funkčnost zařízení**

Zařízení musí být v optimálním stavu z důvodu zachování přesnosti měření a zaručení reliability.

- **Zjištění kontraindikace testování**

Zamezení případnému zhoršení klinického stavu probanda, či zhoršení techniky během testování a po absolvování testování.

- **Seznámení probanda s testováním**

Proband by měl být perfektně seznámen s průběhem testování, jeho účelem a přínosem pro sportovní výkon.

- **Zamezení diskomfortu probanda**

Proband se musí během testování cítit dobře, neměl by si ztěžovat na nepříjemné pocity. V laboratorních podmínkách by měly být udržovány ustálené hodnoty teploty a tlaku.

- **Standardizace měření**

K dosažení validity a reliability měření je potřebné zaznamenávat polohy všech nastavitelných komponentů měřicího přístroje, jako je např. poloha sedátka, úhly hlavy dynamometru nebo délka ramene páky.

- **Rozcvičení**

Před testováním by mělo být provedeno rozcvičení. Svým charakterem dělíme rozcvičení na obecné, které je zaměřeno komplexně na celé tělo, a rozcvičení specifické, zaměřené na testovaný segment. Do rozcvičení zahrnujeme cviky statického a dynamického charakteru.

## **Kontraindikace izokinetického testování a tréninku**

IK testování je zpravidla bezpečná metoda diagnostiky silových schopností, nicméně je třeba dodržovat zásady a postupy uvedené v kapitole 4.5. Obtížnost testování se mění jednak podle hodnoceného segmentu těla, ale i podle probanda. Testování, které může být vhodné pro jednoho jedince, nemusí být vhodné pro druhého. Dvir (2004) doporučuje posouzení vhodnosti testování podle zdravotního stavu probandů. Jako nevhodní se jeví probandi, kteří trpí např. kardiovaskulárními nemocemi, mentálními poruchami, nedolčenými zlomeninami nebo úrazy pohybového aparátu. K obtížím, které by měly být individuálně posouzeny, se řadí např. subjektivní pocity bolesti nebo omezený rozsah pohybu hodnoceného segmentu.

## **Využití izokinetického testování při rehabilitaci**

V oblasti rehabilitace má IK testování také významný přínos. Díky možnostem nastavení předem stanovené rychlosti pohybu a hodnoty svalové síly, je IK testování ideálním prostředkem k diagnostice vývoje poúrazových nebo pooperačních stavů probanda.

Thomee, Renstrom, Grimby a Peterson (1987) ve své studii uvádějí jako příklad využití rehabilitace pomocí IK testování skupinu 16 sportovců (14 mužů a 2 ženy) průměrného věku 24,1 let, kteří podstoupili operativní zákrok rekonstrukce předního křížového vazy. Sportovci byli rozděleni do 2 skupin, kdy první skupina trénovala v pomalé rychlosti ( $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ ), 10x10 opakování. Druhá skupina trénovala ve vysoké rychlosti ( $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ ), 10x15 opakování. Po absolvování osmitýdenního tréninku s dotací cvičení 3x týdně byly zaznamenány tendence ke zvyšování svalové síly u obou skupin. Přírůstky síly byly však větší u skupiny s vyšší rychlostí pohybu. U této skupiny byly také zpozorovány tendence ke zvětšení průřezu rychlých svalových vláken. U obou skupin byl pak naměřen téměř nulový bilaterální rozdíl končetin. Z výsledků této studie vyplývá, že IK trénink napomohl sportovcům po plastice předního křížového vazy (*anterior cruciate ligament*, ACL) ke zvýšení svalové síly flexorů a extenzorů kolena.

Dauty, Potiron-Josse a Rochcongar (2003) poukázali ve svém článku na možnosti odhalení předchozích zranění hamstringů pomocí IK testování. Skupina čítala 28 elitních fotbalistů. Z celkového počtu bylo 11 hráčů postiženo předchozími zraněními a byli porovnáváni se zbývajících 17 zdravými hráči. Měření probíhalo při úhlové rychlosti  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  za využití koncentrických a excentrických kontrakcí. Díky znázornění průběhu pohybu na křivce momentu síly odhalila metoda cvičení concentric hamstring ( $H_c$ ), concentric quadriceps ( $Q_c$ ) ideálně nezraněné fotbalisty, kteří na křivce neměli žádné znaky chyb (pravděpodobnost 90,1 %). Metoda cvičení  $H_c - Q_c$  pak odhalila postižená místa na křivce pohybu u zraněných fotbalistů (pravděpodobnost 77,5 %). Lze tedy konstatovat, že izokinetické koncentricko – excentrické cvičení při úhlové rychlosti  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  napomáhá diagnostikovat předchozí zranění hamstringů tím, že odhalí případné viditelné znaky chyb na křivce momentu síly. Tyto změny na křivce přetrvávají i po obnovení aktivní vrcholové činnosti sportovce.

#### 4.6 TYPY SVALOVÉ ČINNOSTI PŘI IZOKINETICKÉM TESTOVÁNÍ

Díky svalové činnosti vzniká síla. Celý proces je závislý na přenosu nervového vzruchu. Svalová činnost je pak jeho mechanickou odpovědí. Svalová kontrakce je zprostředkována vznikem příčných můstků ve svalu, kdy se zasouvají filameny aktinu mezi filameny myozinu v sarkomeře, ohraničené dvěma Z-liniami. Následná kontrakce se pak rozděluje podle délky a napětí kontrahovaného svalu. Čelikovský et al. (1979) popisují tyto typy kontrakcí:

- **Koncentrická** – tento typ kontrakce nastává, když napětí generované uvnitř svalu stačí pro překonání odporu (ve většině případů alespoň gravitace). Svalová vlákna se zkracují, mění se intramuskulární napětí, sval se zkracuje a nejčastěji se mění úhel v kloubu. Tuto kontrakci popisujeme jako pozitivně dynamickou a můžeme jí najít ve většině sportů např. při skocích, či hodech. Při koncentrické kontrakci jsou síly nižší, protože sval musí být schopen generovat sílu potřebnou pouze k překonání odporu.

- **Excentrická** – většina případů, kdy svaly pracují excentricky, působí jako brzda nebo odporová síla proti hybné síle gravitace nebo jiné vnější síle. Pokud je odpor větší než produkovaná síla, dochází k prodloužení svalu a k zpomalení, či zastavení pohybu. Termín prodloužení je vlastně zavádějící, protože ve většině případů sval není prodloužený. Ve skutečnosti se vrací ze svého zkráceného stavu do normální klidové délky. Tato svalová práce je označována jako negativně dynamická. Excentrické akce produkují větší zatížení pružné muskuloskeletální komponenty a jsou používány u mnoha dynamických pohybů např. chůze ze schodů, dopady po skocích nebo trefení míče. Při excentrické kontrakci se vždy více zatěžují tělesné systémy, protože se během těchto kontrakcí generuje více síly.
- **Izokinetická** – pohyb se provádí konstantní navolenou rychlostí, kterou pak udržuje ID, pokud proband bude tlačít proti odporu velkou silou, dynamometr bude odpor také zvyšovat, aby udržel konstantní rychlost pohybu. Jestliže pak proband ubere na tlaku, přístroj automaticky zmenší odpor, čímž zachová rychlost pohybu stále konstantní.

#### 4.7 OTEVŘENÉ A UZAVŘENÉ KINETICKÉ ŘETĚZCE

Pohyby v kloubních spojích jsou prováděny různými způsoby podle výsledného požadovaného pohybu. Pojmy otevřený a uzavřený kinetický řetězec zavedl do biomechaniky lidského těla Steindler (1955) ve své knize „Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions“. Podle Steindlerova původního dělení jsou otevřené kinetické řetězce (*Open Kinetic Chains*, OKC) ty, které mají jeden konec segmentu těla označený jako distální, volný a druhý konec, označený jako proximální, je pevně fixovaný. Oproti tomu uzavřené kinetické řetězce (*Closed Kinetic Chains*, CKC) má fixované oba konce segmentu. Přímo pak uvádí, že pohybu distálního segmentu brání „značný“ odpor. Steindler ale dále nedefinoval, co přesně znamená „značný“. Autor pak dále upozorňoval na fakt, že nelze dělit funkční aktivity striktně na OKC nebo CKC, protože podle něj každá aktivita zahrnuje oba výše uvedené typy. Jiní autoři se později pokusili zavést své vlastní definice, problém nejasné hranice mezi OKC a CKC se jim však vyřešit nepodařilo.

## 4.8 TESTOVANÉ SEGMENTY DOLNÍCH KONČETIN

Využití IK testování a tréninku se s rozvojem IK přístrojů značně rozšířilo. Díky tomuto pokroku je možné hodnotit celou řadu segmentů lidského těla. Hodnotící parametry se však liší podle testovaného segmentu. Loketní nebo ramenní kloub jsou také důležitými kloubními spojeními pro celou řadu sportovních odvětví. Nicméně tato práce je zaměřena na IK testování a trénink flexorů a extenzorů kolena, proto IK testování loketního a ramenního kloubu nebude blíže uvedeno. Mezi méně testované segmenty těla, kterým se IK výzkum do nynější doby nevěnoval v takové míře, patří zejména oblast zápěstí nebo trupu. Nejčastěji testovanou částí lidského těla je koleno, kterému bude věnována zvláštní pozornost.

### Hlezenní kloub

Hlezenní kloub (HK) je druhou nejčastěji testovanou částí dolní končetiny. Je hodnocen častěji než kyčelní kloub, ale naopak méně často než koleno, které se stalo hlavním předmětem výzkumu a klinické praxe. Právě v klinické praxi nebylo provedeno dostatečné množství IK testování, což je překvapivé vzhledem k vysokému výskytu traumat, zejména podvrknutí kotníku, která představují 85 % všech poranění kotníku. Vysvětlení lze nalézt ve stabilizaci a nastavení pozice HK při IK testování u pacientů s obnovujícími se traumaty. Kromě toho rekonstrukční chirurgie HK zaostává v porovnání s ostatními segmenty dolních končetin. Je také pravda, že svalová práce v kolenním kloubu je mnohem jednodušší než v HK, takže hodnocení svalové síly jednotlivých svalů je praktickou překážkou (Dvir, 2004).

Dvir (2004) popisuje měření výkonu HK v několika bodech. Ty zahrnují testování v dorzální flexi a plantární flexi. Za hlavní faktory jsou považovány tyto body:

- ***Testovaný rozsah pohybu***

Rozsah pohybu se měří od neutrální polohy chodidla ( $0^\circ$ ). Hodnoty často citované při měření se pohybují od  $10$  do  $30^\circ$  pro dorzální flexi a od  $40$  do  $65^\circ$

pro plantární flexi. Rozsah pohybu je závislý na zkušební rychlosti a klinickém stavu končetiny.

- ***Pozice a stabilizace***

Pozice a stabilizace jsou důležité faktory, jejichž význam v reprodukovatelnosti a platnost IK testování nelze podceňovat. Při plantární flexi proband sedí, chodidlo je upnuté do nástavce přístroje a páteř s rameny a boky jsou fixovány. Při testování se provádí výpony na špičky. Polohování dorzální flexe není tak náročné. Navíc její funkce, která je připravit chodidlo na první fázi lokomoce je přímo součástí OKC chůze. Testování je tedy totožné s plantární flexí.

- ***Testované rychlosti pohybu a počet opakování***

Pro otestování maximální síly se obecně užívají IK rychlosti v rozmezí 30 – 300°.s<sup>-1</sup>. U dorzální flexe mohou být hodnoty až do 240°.s<sup>-1</sup>. Chceme-li otestovat maximální sílu, mělo by postačit alespoň 5 opakování, většinou ale ne více než 10 opakování. Při testování vytrvalosti se užívá doba 5 – 10 minut, při rychlostech 240, 300°.s<sup>-1</sup>, ale i vyšších.

## **Kyčelní kloub**

V oblasti IK výzkumu je kyčelní kloub pravděpodobně po kolenním a hlezenním kloubu nejméně testovaným kloubním systémem dolních končetin. Ve světových databázích nenajdeme dostatečný počet studií zabývajících se testováním, postupy a výsledky s reprezentativními hodnotami. S ohledem na důležitost role kyčelních svalů při lokomoci a při správném držení těla je tento fakt vcelku překvapující.

Kyčelní kloub dovoluje provést pohyby v třech nezávislých osách. To vede k sagitálním, frontálním a axiálním pohybům. Dvir (2004) proto rozděluje základní principy testování podle těchto os následujícím způsobem:

- **Testovaný rozsah pohybu**

- **Sagitální rovina**

Pohyb v sagitální rovině je popsán ve smyslu flexe a extenze kyčelního kloubu. Existují značné rozdíly ve studiích, zabývajících se IK testováním kyčelního kloubu. V oblasti kyčelního svalstva je doporučený ROM v rozsahu 60 – 75° při vzpřímené poloze.

- **Frontální rovina**

Pohyb ve frontální rovině je popsán ve smyslu addukce a abdukce kyčelního kloubu. Akceptovaný ROM pro abdukci je 45°. V případě IK testování v poloze ležmo na boku je ROM při addukci do 5°. Důvodem je mechanický blok, který vzniká v této poloze na boku a zabraňuje většímu ROM.

- **Axiální rovina**

Pohyby v axiální rovině se rozumí vnější a vnitřní rotace v kyčelním kloubu. Svaly vykonávající tyto pohyby při IK testování odrážejí svoje výkonové parametry při ROM 30°. V rozsahu 5° vnitřní rotace až 25° vnější rotace. Tento ROM se zdá být dostatečně komplexní pro zjištění hledaných hodnot.

- **Pozice a stabilizace**

- **Sagitální rovina**

Testování v sagitální rovině se provádí ve svislé poloze. Je tomu proto, že většina pohybů konaných v této rovině (chůze, běh, chůze do schodů), jsou prováděny ve vzpřímené poloze těla. Gravitační kompenzace při IK testování vleže na zádech by byla jednoduše příliš velká a bylo by složité, dokonce nemožné generovat odpovídající moment ke zvednutí segmentu.

- **Frontální rovina**

Při testování ve frontální rovině je hlava dynamometru nastavena do středu kolaterální oblasti kyčle, protože kyčelní kloub má tendenci zejména při provádění abdukce ohýbat trup k testované straně. Tyto úklony nepříznivě ovlivňují napětí v *musculus gluteus medius*. Opak platí pro addukci, kdy pánev inklinuje k pohybu k testované straně. Kolenní kloub musí být v plné extenzi.

- **Axiální rovina**

Pozice testování v axiální rovině je možné provádět ve 3 odlišných pozicích. První poloha v sedu s flexí kolena  $90^\circ$ , poloha vleže s flexí v kyčli i koleni  $90^\circ$  a poslední poloha vleže s kolenem v extenzi. Stabilizace byla poskytnuta popruhy kolem stehenního svalu, přes pánevní hřebeny a hrudník. Studie ukázala, že pozice v sedu byla spojena s nejvyššími dosaženými výsledky vnitřní a vnější rotační síly.
- **Testované rychlosti pohybu a počet opakování**
  - **Sagitální rovina**

Ve studiích je málo doporučení, jakou úhlovou rychlostí by měly být segmenty testovány. Přesto studie Cahalan, Johnson, Liu, a Chao (1989) odkazuje na používání rychlostí odvozených od chůze, či běhu. Avšak při těchto lokomocích nedochází k izokinetickému pohybu. Burdett & Swearingen (1990) používali rychlosti  $30$  a  $90^\circ \cdot s^{-1}$ . Při tomto testu zjistili, že síla flexorů a extenzorů je v obou rychlostech podobná. Oproti tomu Cahalan et al. (1989) vyzkoušeli také IK testování při vyšších úhlových rychlostech  $150$  a  $210^\circ \cdot s^{-1}$ . Výsledky však ukázaly na křivce momentu síly značné výkyvy hodnot. Proto autoři doporučují použití rychlostí  $30$  a  $90^\circ \cdot s^{-1}$  nebo jedné rychlosti  $60^\circ \cdot s^{-1}$  pro komplexnější zhodnocení maximální síly.
  - **Frontální rovina**

Testování ve frontální rovině vyzkoušeli Cahalan et al. (1989) při rychlostech v rozmezí  $30 - 210^\circ \cdot s^{-1}$ . Přihlédneme-li k faktu, že ve frontální rovině je velmi limitován ROM, může být použita rychlost  $30^\circ \cdot s^{-1}$ , jako adekvátní demonstrace hodnot svalové síly. Oproti tomu Donatelli, Catlin, Backer Drane a Slater (1991) používali rychlosti  $30$ ,  $60$  a  $90^\circ \cdot s^{-1}$ , které se také ukázaly jako vhodné pro víceúrovňové hodnocení svalové síly
  - **Axiální rovina**

Testovací rychlosti, které používali Cahalan et al. (1989), byly zvoleny v závislosti na míře pohodlí pro pacienta. Doporučené rychlosti jsou  $30^\circ \cdot s^{-1}$  nebo  $60^\circ \cdot s^{-1}$ .



## 5 IZOKINETICKÉ TESTOVÁNÍ EXTENZORŮ A FLEXORŮ KOLENA

Lze konstatovat, že v současnosti více než 75 % všech prací věnovaných izokinetickému výzkumu, je zaměřeno na testování jediného kloubního systému, kolena. Aktuálně se výzkum zabývá všemi aspekty izokinetiky – teorií, metodikou nebo klinickou aplikací. Počet vědeckých prací také poukazuje na výrazný pokrok v oblastech operačních zákroků anebo pooperační rehabilitace kolena. Kromě toho je většina dynamometrů konstruována primárně k testování a rehabilitaci kolena, více než je tomu u ostatních kloubních spojení (Dvir, 2004).

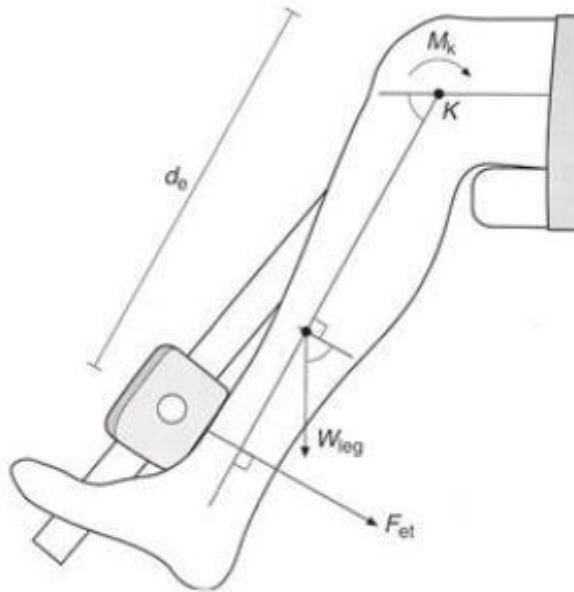
Stejně jako pro kyčel či kotník, platí pro IK testování několik zásadních opatření. Dvir (2004) tyto opatření popsal takto:

- ***Testovaný rozsah pohybu***

Rozsah pohybu je při IK testování kolena 0 – 90°, přičemž krajní poloha testování je 20° flexe a konečná 90° flexe kolena. Neutrální pozice je zpravidla nastavena na 70°.

- ***Pozice a stabilizace***

Koleno se skládá z 2 hlavních kloubních spojení. Jedná se o *tibiofemorální* a *patellofemorální* spojení. Vzhledem k tomu, že *patellofemorální* pohyb nemá na IK testování vliv, je věnován hlavní zájem na spojení *tibiofemorální*. Pro testování je obvyklá pozice v sedu se stabilizovaným stehnem pomocí stahovacích pásů. Střed otáčení je na dynamometru nastaven na laterální femorální epikondyl (Příloha 3). Nicméně střed otáčení pro sagitální holenní kost není vázán k této ose. Smidt (1973) prokázal, že se při sagitálním pohybu tibie v *tibiofemorálním* spojení pohybuje střed otáčení po oblouku. Maximální síla hamstringů nebo kvadricepsu může být získána z údajů pomocí vztahu: maximální síla = registrovaná síla  $F_{et}$  x délka páky ramene  $d_e$  (Obrázek 2). Nicméně výpočet aktuální síly závisí na celé řadě dalších faktorů a parametrů.



**Obrázek 2.** Moment síly svalu,  $M_k$ , je roven násobku délky ramene,  $d_e$ , a hodnoty síly naměřené snímačem dynamometru,  $F_{et}$ , a hmotností končetiny,  $W_{leg}$ , ke které se zpravidla provádí gravitační kompenzace (Dvir, 2004)

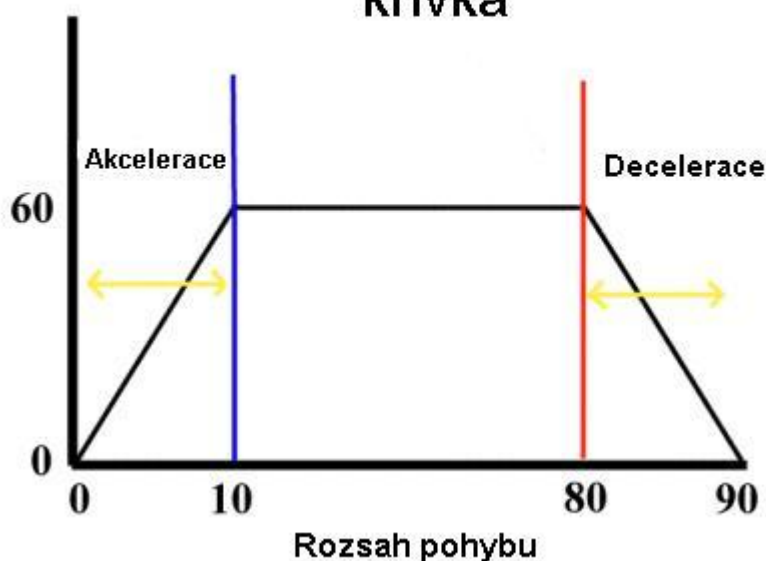
- **Nastavení zádové opěrky** má také vliv na výsledky testování. Bohannon a Smith (1988) ve své studii dokázali, že úhel nastavení zádové opěrky nemá vliv na produkci svalové síly u kvadricepsu, na druhou stranu při svislé poloze zadní opěrky docházelo k výraznému navýšení hodnot síly u hamstringů. Pravděpodobně optimální poloha zádové opěrky pro IK testování obou svalových skupin je  $75 - 80^\circ$ . Fixace probanda je provedena za pomoci suchých zipů. První zip fixuje pánev na sedátku, aby se zabránilo posouvání těla dopředu, další fixuje DK přes *musculus quadriceps femoris* tak, aby nedocházelo ke zdvihání DK při pohybu do flexe v kyčelním kloubu. Je vhodné také fixovat ramena, aby nedocházelo k ohýbání trupu a tím k ovlivňování výsledků. Hart, Stobbe a Till (1984) přidávají tvrzení, že při fixaci ramen došlo k významnému nárůstu síly kvadricepsu oproti poloze bez fixace.
- **Nastavení ramene dynamometru** je také významné pro přesné výsledky měření. Bohannon a Smith (1988) doporučují při testování umístit rameno opěrky přesně nad mediální kotník, aby byla zajištěna plná dorzální flexe v kotníku (Příloha 3). Autoři dále poukazují na to,

že jako komfortní označilo tuto pozici více než 70 % měřených mužů a žen. Zbytek respondentů pak označil za pohodlnou pozici takovou, kdy byla opěrka ve 2/3 využitelné délky lýtkové a holenní kosti. Řada studií prokázala, že nastavení ramene dynamometru má významný vliv na výsledky měřené síly. Perrin (1993) prokazuje, že síla obou flexorů a extenzorů kolena se podstatně snížila po přiblížení nožní opěrky blíže ke kolennímu kloubu. K této situaci došlo ve všech testovaných rychlostech. Důvodem tomu je komprese měkkých tkání, které způsobily divergence osy kolena od středu osy otáčení dynamometru. Kromě tohoto faktu také tvrdí, že dochází ke snížení aktivace motorických jednotek, snížení pohodlí nebo k nárůstu bolesti.

- ***Testované rychlosti pohybu a počet opakování***

Oblasti hamstringů a kvadricepsu byly testovány pomocí rozsáhlého spektra úhlových rychlostí. Například Borges (1989) si vybral k testování velmi nízké úhlové rychlosti  $12^{\circ} \cdot s^{-1}$ . Oproti tomu Ghena, Kuth, Thomas a Mayhew (1991) testovali subjekty při vysokých rychlostech 450 a  $500^{\circ} \cdot s^{-1}$ . S výrazným nárůstem testovacích rychlostí jsou však spojeny i fáze akcelerace a decelerace pohybu (Obrázek 3). Ty však mohou zabírat velkou část ROM, poté se mění pohyb v podstatě na izotonický. Zdá se tedy, že testování při vysokých úhlových rychlostech nepřináší užitečné informace. Využití vysokých rychlostí nalezneme pouze u sportovních odvětví, ve kterých jsou sportovci na vysokou rychlost vykonávaných pohybů dobře adaptováni, např. atletické běhy na krátké vzdálenosti nebo sporty s častými výbušnými odrazy. Jako nejideálnější hodnoty rychlosti se jeví rozmezí mezi 60 až  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ . Tyto rychlosti splňují základní požadavky reprodukovatelnosti a validity testování. Výhodou je také široké využití těchto rychlostí v mnoha studiích (Dvir, 2004).

## Akcelerační a decelerační křivka



**Obrázek 3.** Znárodnění akcelerační a decelerační křivky v ROM IK testování kolena při úhlové rychlosti  $60^\circ \cdot s^{-1}$  (Spencer – Wimpenny, 2010, upraveno).

### 5.1 VYŠETŘENÍ POMĚRU SÍLY FLEXORŮ K EXTENZORŮM KOLENA

Poměr síly flexorů k extenzorům (Hamstring/Quadriceps – H/Q ratio) je velmi často užívaný parametr, který je používán jako indikátor normativní rovnováhy sil mezi flexory a extenzory kolena. Ukázalo se, že tento poměr je závislý na úhlové rychlosti. Pro nízké úhlové rychlosti (do  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ) je tento poměr ideálně roven hodnotě 0,6. Poměr H/Q při rychlosti  $60^\circ \cdot s^{-1}$  větší nebo roven 0,6 (60 %) se jeví jako ideální hodnota. Při vyšší rychlosti (nad  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ) je již vysoká pravděpodobnost výskytu zranění u hamstringů. Hodnota H/Q ratio u těchto rychlostí stoupá až nad 1,0 (Brown, 2000, 2007; Dauty & Rochongar, 2001; Dvir, 2004).

Tento poměr se také využívá jako možný nástroj napomáhající k předcházení zranění kolena. Po zranění kolena je poměr H/Q používán jako rehabilitační ukazatel pro cvičení opětovného navrácení stability kolena. Snížení svalové síly antagonistických hamstringů zvyšuje zatížení agonistického kvadricepsu, což může způsobit svalovou nerovnováhu mezi

těmito partiemi. Tato nerovnováha může vést ke zranění sportovce (Mahaffey, Rosene, Fogarty, & Tracey, 2001).

Dynamický kontrolní poměr (dynamic control ratio) je poměr síly mezi flexory a extenzory kolena. Kvadriceps kontrahuje koncentricky, zatímco hamstringy kontrahují excentricky. Tento poměr  $H_c/Q_c$  se používá u pacientů, kteří prodělali zranění ACL. Perrin (1993) srovnával hodnoty dynamického kontrolního poměru,  $H_c/Q_c$  s poměry  $H_c/Q_c$  a  $H_e/Q_e$  při úhlové rychlosti  $30^\circ \cdot s^{-1}$ . Studie napověděla, že při koncentrickém režimu  $H/Q$  a excentrickém režimu  $H_e/Q_e$ , se rozdíl pohyboval pouze do 3 % mezi poraněným a zdravým kolenem. Významný rozdíl pak byl pozorován při dynamickém kontrolním poměru, při kterém klesla koncentrická síla kvadricepsu u postiženého kolena o 11 %.

## 5.2 UNILATERALITA

Lateralita je motorická převaha (dominance) jedné poloviny těla nad druhou. Nejčastěji mluvíme o pravorukosti či levorukosti, kde je lateralita nejvíce patrná. Stejným způsobem lze hovořit i o nohovosti či okovosti. Pro sport je lateralita končetin důležitá. Izokinetické testování a trénink mají ve většině případů jednostranný (unilaterální) charakter. To je způsobeno nemožností přístrojů měřit obě končetiny najednou. Měření se zpravidla nejprve provádí na dominantní končetině a poté se přechází k měření nedominantní končetiny. Unilaterální zatížení vede k tzv. kontralaterálnímu efektu, který je v odborné literatuře popisován jako „*cross education*“ a popisuje nárůst síly na opačné, netréované končetině po absolvování unilaterálního tréninku. Tento jev není ovlivnitelný pohlavím ani věkem. Prokázalo se, že unilaterální IK trénink spolu s kontralaterálním efektem vedou ke zvýšení síly nedominantní končetiny (Perrin, 1993; Lee & Carroll, 2007).

Vznik tohoto jevu (*cross education*) popisují Lee a Carroll (2007) ve své studii podle 2 hypotéz. První hypotéza předpokládá, že unilaterální IK trénink může zaktivovat neuronové obvody, které chronicky ovlivňují účinnost motorických cest, ovládajících pohyb netréované končetiny. To může následně vést ke zvýšení schopnosti řídit svaly netréované končetiny a tím způsobit zvýšení síly. Adaptaci na tento typ hypotézy vykazují spinální a kortikální okruhy, které inervují DK. Druhá hypotéza naznačuje, že unilaterální

IK trénink vede k úpravám v oblasti motorických drah, které jsou zodpovědné za kontrolu pohybu trénované končetiny. Netrénovaná končetina se může pak napojit na tyto modifikované neurální cesty při maximálních kontrakcích při motorickém učení. Správné pochopení mechanismů, které jsou základem „*cross education*“ tréninku, může potenciálně přispět k efektivnějšímu využívání tréninkových izokinetických protokolů, které využívají tyto kontralaterální efekty ke zlepšení klinického stavu u pacientů s poruchami hybnosti, které převážně ovlivňují jednu stranu těla.

Tento efekt se snažila potvrdit skupina autorů Kovačević, Dautbašić, Bradić a Babajić (2011). Ve své studii popsali efekty unilaterálního IK testování a tréninku dominantní končetiny a jeho vliv na rozvoj maximálního momentu síly u flexorů a extenzorů kolena. Měřenými osobami bylo 30 studentek fakulty tělesné výchovy a sportu v Sarajevu s věkovým průměrem 22 let. Byly vytvořeny 2 skupiny, kontrolní a experimentální. Maximální moment síly byl testován na izokinetickém dynamometru při úhlových rychlostech 60 a 180°·s<sup>-1</sup>. Experimentální skupina prováděla doplňkové cvičení při rychlosti 60°·s<sup>-1</sup> 3x týdně po dobu 4 týdnů. Kontrolní skupina prováděla dále svou sportovní činnost beze změn. Analýza výsledků po absolvování tréninkového cyklu pro experimentální skupinu s přidaným IK tréninkem potvrdila efekt IK tréninku na rozvoj maximálního momentu síly mezi počátečním a konečným měřením. Statistický nárůst síly extenzorů při úhlové rychlosti 60°·s<sup>-1</sup> byl 18 % (25,9 Nm). U flexorů byl zaznamenán nárůst dokonce 20% (15,2 Nm). Oproti tomu kontrolní skupině byl naměřen po absolvování stejného tréninkového cyklu pokles maximálního momentu síly u extenzorů 3% (4,2 Nm). U flexorů proběhl také pokles o 3 % (2,4 Nm). Experimentální skupina tedy může vysvětlit fenomén specifčnosti přidaného IK tréninku na rozvoj svalové síly. Výzkum dále prokázal, že IK trénink flexorů a extenzorů kolena je stimulem pro rozvoj síly i na kontralaterální končetině.

### 5.3 NORMY A VÝSLEDKY SPORTUJÍCÍ A NESPORTUJÍCÍ POPULACE

Vzhledem k velkému počtu vědeckých prací, zabývajících se IK testováním kolena, by se dalo předpokládat, že bylo mnoho prací provedeno za účelem stanovení výkonových norem populace. To však není jednoduché. Vytvoření norem vyžaduje rozsáhlou databázi obsahující značné množství informací. Těmito informacemi mohou být různě propojené atributy jako například: pohlaví, věk, stupeň aktivity, druhy svalových vláken, zdravotní stav, anebo atributy vázané, jako jsou cvičební režimy, úhlové rychlosti a zkušební postupy. Nejdůležitější složkou jsou pak naměřené veličiny a typy přístrojů, které měření poskytují. Vzhledem k tomu, že je příliš mnoho různých faktorů, je téměř nemožné poskytnout jednotný a spolehlivý normativní rámec (Dvir, 2004).

Ghena et al. (1991) vytvořili ve své studii databázi sportovců z různých sportovních odvětví. Oslovili celkem 100 sportovců mužského pohlaví s věkovým průměrem 21,5 let. Osoby byly testovány pomocí ID. Ve studii byla testována pouze dominantní končetina. Test obsahoval koncentrický režim při úhlových rychlostech 60, 120, 300 a 450°·s<sup>-1</sup> a excentrický režim při 60 a 120°·s<sup>-1</sup>. Výsledky (Tabulka 1) reprezentují hodnoty maximálního momentu síly u dominantní končetiny.

**Tabulka 1.** Výsledky studie Ghena et al. (1991)

Svalová skupina	Režim cvičení	Úhlová rychlost [ $^{\circ} \cdot s^{-1}$ ]	Maximální moment síly [Nm]
<b>Extenzory</b>	con	60	<b>250</b>
	con	120	<b>219</b>
	con	300	<b>146</b>
	con	450	<b>113</b>
	ecc	60	<b>260</b>
	ecc	120	<b>257</b>
<b>Flexory</b>	con	60	<b>142</b>
	con	120	<b>126</b>
	con	300	<b>88</b>
	con	450	<b>92</b>
	ecc	60	<b>166</b>
	ecc	120	<b>168</b>

*Vysvětlivky:* con – koncentrický režim, ecc – excentrický režim

Nejobsáhlejší studie, alespoň co se týče počtu zúčastněných, byla publikována skupinou autorů Freedson, Gilliam, Mahoney, Maliszweski a Kastango (1993). Předmětem studie bylo celkem 4541 osob, z toho 1196 žen a 3345 mužů. Osoby pracovaly ve 20 různých společnostech, ve kterých vykonávaly střední až těžkou fyzickou práci. Všichni účastníci prošli vstupní prohlídkou a byli shledáni, jako „způsobilí“ po dobu měření. Testování se provádělo ve třech úhlových rychlostech 60, 180 a 300 $^{\circ} \cdot s^{-1}$ . Při měření nebyla provedena gravitační kompenzace. Výsledky (Příloha 1) jsou znázorněny v procentuálním poměru a rozděleny podle věku. Z výsledků vyplývá, že u žen s přibývajícím věkem klesá síly flexorů a extenzorů rychleji, než u mužské populace.



Neder et al. (1999) se ve své studii pokusili stanovit referenční hodnoty svalové síly a výkonu při koncentrickém IK tréninku u mužů a žen, kteří nejsou vrcholovými sportovci a věnují se nepravidelně pohybové aktivitě. Studie se opírá o řadu známých referencí, nicméně žádná z nejčastěji citovaných studií neobsahovala náhodně vybraný sbor subjektů, které nesportují na vrcholové úrovni. Výzkumu se účastnilo celkem 45 mužů a 51 žen ve věku 20 – 80 let. Tento počet byl náhodně vybrán z celkového počtu 8000 uchazečů a podle věku byli rozděleni do 6 skupin. Testování probíhalo při úhlové rychlosti  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ , která byla zaměřena na maximální sílu a při rychlosti  $300^{\circ} \cdot s^{-1}$ , zaměřené na maximální výkon. Výsledky této studie (Příloha 2) by mohly být klinicky užitečné informace pro interpretaci izokinetické síly a výkonu flexorů a extenzorů kolena u běžné populace.

#### **5.4 TESTOVÝ PROGRAM EXTENZORŮ A FLEXORŮ KOLENA**

Testovací programy se sestavují podle cílové skupiny vyšetřovaných osob. Výsledné testové protokoly se pak liší počtem opakování a intervaly odpočinku. Důležitým prvkem v testování jsou také zkušební opakování, které zajišťují dodatečnou familiarizaci testovaných pohybů. Brown (2000) rozděluje testové programy (Tabulka 2) podle cílové skupiny takto:

**Tabulka 2.** Testové protokoly podle pro různé skupiny testovaných osob (Brown, 2000, upraveno)

<b>Testovací protokol síly</b>	<b>Všeobecný</b>	<b>Rekonvalescenti</b>	<b>Sportovci</b>
<b>Typ kontrakce</b>	con/con	con/con	con/con con/ecc
<b>Rychlost [<math>^{\circ}</math>.s<math>^{-1}</math>]</b>	60 / 120	60 / 120	60 – 300
<b>Počet zkušebních opakování</b>	6	6	6
<b>Počet opakování</b>	10	6	10
<b>Počet sérií</b>	3	3	4
<b>IO mezi sériemi</b>	20 – 30 s	60 – 120 s	20 – 30 s
<b>IO mezi rychlostmi</b>	120 s	120 s	120 s
<b>IO mezi končetinami</b>	300 s	300 s	300 s

*Vysvětlivky:* con – koncentrický režim

ecc – excentrický režim

## **5.5 VLASTNÍ SHRNU TÍ POZNATKŮ O IZOKINETICKÉM TESTOVÁNÍ**

Izokinetické testování přináší ojedinělé možnosti diagnostiky svalové síly. Díky možnosti regulovat rychlost pohybu tak dochází k maximálnímu napětí během celého ROM. Výsledky testů interpretují vztah mezi rychlostí, silou a výkonem při různých rychlostech.

Výhodou izokinetického testování je nejen porovnání relativní síly obou končetin, ale i poměr síly agonistů vůči antagonistům, které dokáží odhalit specifické svalové dysfunkce. Důležité je také vysoké procento validity a reliability testování.

Nevýhodou testování je především finanční náročnost kvůli vysokým pořizovacím cenám izokinetických přístrojů. Specifičnost pohybů při testování je nevýhodná, protože se vykonávané pohyby (hlavně jednokloubové) liší od pohybů, prováděných při sportovní činnosti.

## 6 IZOKINETICKÝ TRÉNINK FLEXORŮ A EXTENZORŮ KOLENA

Při sestavování silového a kondičního IK tréninku musí být dodrženy základní aspekty fyziologie a izokinetiky. Před započítím tréninku se vykonává analýza vstupních předpokladů, aby byla zajištěna bezpečnost a efektivita cvičebního programu. Typ svalové kontrakce, úhlová rychlost a objem tréninku jsou základními faktory při zvažování zaměření IK tréninku. Výsledkem správně sestaveného specifického IK tréninku je zvýšení svalové síly, výkonu a vytrvalosti. Izokinetický trénink je určen sportovcům, kteří chtějí zlepšit svůj sportovní výkon.

Izokinetický trénink je ve sportovní sféře méně používán, než variabilní odpor a jiné formy izotonických cvičení. V poslední době byla tomuto tréninku věnována značná pozornost v aplikovaném výzkumu. Hlavní důraz byl kladen vlivu IK tréninku na sportovní výkon. Podle Browna (2000) může být IK trénink použit k rozvoji těchto parametrů:

- zlepšení svalové síly a výkonu,
- neurální aktivace a svalová adaptace,
- rozvoj síly při specifických úhlových rychlostech,
- reprodukovatelnost testování svalových funkcí.

### 6.1 SESTAVENÍ TRÉNINKU

Prvním krokem pro sestavení IK tréninku dolních končetin je znalost jednotlivých předpisů, které umožňují zacílení IK tréninku v rámci zvyšování trénovanosti sportovců nebo v rehabilitaci. Brown (2000) popisuje rozdělení aspektů pro vytvoření IK tréninku takto:

- **Aktuální proměnné programu** – výběr cviků; pořadí cviků; velikost odporu, či zatížení, použitého během tréninku; počet sérií pro každý cvik; počet opakování pro každý cvik; délka intervalu odpočinku (IO) mezi jednotlivými sériemi.
- **Dlouhodobé proměnné programu** – mění aktuální proměnné v pravidelných intervalech ke stimulaci fyziologických změn.

- **Vlastní sestavení tréninku** – zahrnuje dostupné vybavení, čas cvičení, seznam cviků pro vytvoření tréninkového protokolu.
- **Výběr cviků** – je třeba zohlednit specifickou jednotlivých cviků pro stanovení vhodného odporu cvičení a seznam cviků. Při rozvoji maximální svalové síly je vhodné použití nízkých rychlostí, oproti rozvoji výbušné síly, kdy jsou vhodnější vysoké rychlosti. Pohybové vzory a zatížení energetických systémů by měly odpovídat zadanému protokolu.
- **Určení pořadí cvičení** – zahrnuje způsoby, jak uspořádat jednotlivé cviky k docílení maximalizace síly, výkonu, práce apod.
- **Délka periody odpočinku** – může významně ovlivnit metabolické systémy, které přispívají k energetickému zásobení pracujících svalů.

Sestavení tréninku by mělo být dokončeno před zahájením cvičebního programu s ohledem na maximální bezpečnost testované osoby a efektivnost tréninku. Analýza potřeb musí také zahrnovat informace obsahující individuální potřeby, výkony a nedostatky testované osoby. Svalová síla, výbušnost, vytrvalost a flexibilita dolních končetin by měly být testovány s ohledem na tělesnou kompozici a maximální spotřebu kyslíku testované osoby ještě před zahájením tréninkového programu. Specialista na sestavení tréninku může rozvíjet IK trénink individuálně po konzultaci s testovanou osobou, aby byl výsledný efekt tréninku ideální (Brown, 2000; Brown et al. 2005).

Zlepšení svalové síly a výkonu dolních končetin zlepšuje sportovní výkon (Dvir, 2004).

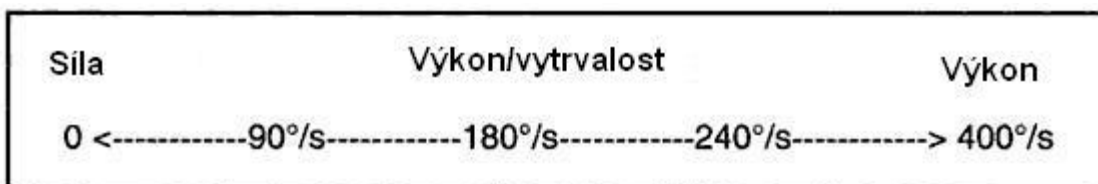
Spencer – Wimpenny (2010) konstatuje, že v řadě odborných studií byly zkoumány různé protokoly IK tréninku s velkým spektrem variací, jako např. intenzita, frekvence, trvání tréninku, dále se studie zaměřovaly na typy kontrakcí s jejich efektem na svalovou sílu, výkon a vytrvalost. V dalších hodnotných studiích se pak autoři zabývají silovými IK tréninky, které zahrnují porovnávání koncentrických a excentrických kontrakcí, porovnání s izometrickým cvičením, ale také trénink při pomalých a rychlých izokinetických rychlostech.

## 6.2 EFEKT RŮZNÝCH RYCHLOSTÍ NA SVALOVOU SÍLU A VÝKON

Pro IK trénink při různých úhlových rychlostech existuje řada důvodů. IK trénink přináší:

- maximální zatížení v celém ROM,
- cvičení v širokém spektru rychlostí,
- koncentrické/excentrické svalové kontrakce,
- OKC a CKC pohyby.

Izokinetický trénink extenzorů kolena při pomalých rychlostech napomohl k většímu nárůstu svalové síly, ale u vysokých rychlostí nebyl zaznamenán signifikantní nárůst. Trénink ve vyšších rychlostech se hodí pro sportovce, kteří ve svých sportovních odvětvích provádí pohyb vysokou rychlostí, s požadavky na maximální výkon a adaptaci na rychlý pohyb (Obrázek 4). IK trénink se tak může díky spektru rychlostí co nejvíce přiblížit rychlostem, objevujícím se při sportovní činnosti. Tato teorie je podporována zásadou specifičnosti cvičení, která říká, že by měly být vytvořeny tréninkové požadavky, rozvíjející konkrétní aspekty neuromuskulární funkce, nezbytné pro provedení pohybového zadání (Brown, 2007).



**Obrázek 4.** Spektrum izokinetických odporových rychlostí. Spektrum líčí rychlostní rozsahy pro rozvoj síly, výkonu a vytrvalosti pomocí izokinetického zatížení (Brown, 2007, upraveno).

Adaptace na rychlostně specifický IK silový trénink jsou komplexem morfologických, biomechanických a neurálních změn, které se mohou i nemusí projevit při krátkodobém tréninkovém programu. Změny v adaptivních mechanismech, které jsou odpovědné za změny svalové síly, jsou různé a závisí na použité rychlosti. Použití vysokých, či nízkých rychlostí v IK tréninku u sportovců je vhodné. Použití rychlostně specifického IK tréninku s cílem maximalizovat přírůstek svalové síly a výkonu při konkrétní rychlosti je vhodné k obohacení stávajícího tréninku sportovce (Dvir, 2004).

### **6.3 FYZIOLOGICKÉ MECHANIZMY**

Existují spory ohledně fyziologických mechanismů odpovědných za zvýšení svalové síly a výkonu během IK tréninku flexorů a extenzorů kolena. Řada autorů zkoumala efekty různých úhlových rychlostí pohybu na zvýšení aktivity svalových enzymů a změnu poměru svalových vláken. Některé studie zaznamenaly zvýšení příčné plochy průřezu svalu (cross – sectional area – CSA). Rozdíly mezi výsledky CSA u sportovců jsou způsobeny faktory, jako jsou genetické předpoklady, somatotyp, či odlišnosti v tréninkovém protokolu (Dvir 2004).

#### **Svalová adaptace na izokinetický trénink flexorů a extenzorů kolena**

Jednou z adaptací na silový trénink je zvýšení počtu rychlých červených vláken typu IIA, která se transformují z rychlých bílých vláken typu IIB. Zdá se, že jakmile jsou svalová vlákna typu IIB stimulována, započne proces transformace na typ IIA, díky změně kvality proteinů a navýšení enzymů ATPázy. Tento posun byl pozorován také během koncentrického IK tréninku DK (Brown, 2000).

Ewing, Wolfe, Rogers, Amundson a Stull (1990) studovali 2 skupiny sportovců, kteří trénovali při rozdílných úhlových rychlostech. Skupina s malou rychlostí trénovala při rychlosti  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ , 3 série po 8 opakováních. Skupina s vysokou rychlostí trénovala při rychlosti  $240^{\circ} \cdot s^{-1}$ , 3 série po 20 opakováních. Celý trénink trval celkem 10 týdnů. Obě skupiny byly kontrolně testovány před a po skončení tréninkového procesu při rychlostech 60, 180 a  $240^{\circ} \cdot s^{-1}$ . Výsledky ukázaly, že pouze skupina, trénující při rychlosti  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ , zaznamenala nárůstky momentu síly a výkonu během tréninku.

Oproti tomu skupina s vysokou rychlostí zaznamenala nárůst momentu síly až po skončení tréninkového cyklu. Výkon u této skupiny zůstal téměř beze změn. Tato studie potvrzuje, že IK koncentrický trénink je efektivní při zvýšení momentu síly. Obě testované skupiny potvrdily významné přírůstky svalových vláken typu I a IIA. Svalová vlákna typu IIB zůstala u obou skupin beze změny. Z výsledků vyplývá, že nárůstky svalové hmoty jsou závislé na rychlosti, kterou je trénink vykonáván a na rychlosti, při které jsou prováděny testy.

### **Neurologická adaptace na izokinetický trénink flexorů a extenzorů kolena**

Neurologické adaptace jsou důležitým faktorem pro nárůst síly. IK trénink se spektrem rychlostí přispívá k rychlejšímu přenosu vzruchů u svalových vláken typu I a IIA. Metoda IK tréninku se spektrem rychlostí je vhodná k podpoře optimální neuromuskulární odezvy. Neznamená to ale, že by trénink při nižších rychlostech zapojoval primárně svalová vlákna typu I a trénink při vysokých rychlostech naopak zapojoval hlavně vlákna typu II. Zapojení svalových vláken závisí na svalovém napětí při vykonávané svalové činnosti a ne na rychlosti. Světová literatura podporuje teorii o zapojení obou typů svalových vláken, než jejich jednotlivé zapojení, založené na rychlosti pohybu. Tréninkové adaptace, způsobené změnami rychlostí v průběhu IK tréninku, souvisejí více se zapojováním motorických jednotek, než se zapojováním různých typů svalových vláken (Brown, 2000).

## **6.4 SPECIFIČNOST IZOKINETICKÉHO TRÉNINKU FLEXORŮ A EXTENZORŮ KOLENA**

Změny ve skeletálním svalstvu jsou důležitým a možná i hlavním ukazatelem adaptací na IK silový trénink. Nicméně nárůst svalové síly není determinován pouze kvantitou svalové hmoty, ale také tím, do jaké míry proběhla aktivace svalové hmoty. Dále je tedy nárůst svalové síly determinován motorickým učením, akvizicí a zlepšením motorických dovedností. Přírůstky svalové hmoty flexorů a extenzorů hlezenního, kolenního i kyčelního kloubu jsou základními aspekty při tvorbě IK tréninku flexorů a extenzorů kolena. Aby byl pohybový úkol co nejefektivnější, musí probíhat maximální



svalová činnost ve všech kloubních spojeních. Silový trénink obsahuje jednak složku otevřených kinetických řetězců, ale i cvičení pomocí odporových izokinetických strojů. Jak konstantní izotonické zatížení, tak i izokinetické stroje slouží ke zvýšení výkonu, a to zejména jako doplněk existujícího tréninkového programu. Svalová síla a výkon jsou způsoby, jak popsat velikost síly, produkovanou končetinou v pohybech, specifických pro jednotlivá sportovní odvětví. Aplikace IK tréninku do sportovní aktivity je velmi důležitá pro optimální zvyšování výkonu. Největší silové přírůstky flexorů a extenzorů kolena byly zaznamenány při cvičích dřep a legpress (oba obsahují CKC pohyby) nebo při cvičení extenze/flexe v koleni, pomocí IK přístrojů (OKC pohyby). Zvýšení hodnot svalové síly je vysvětlováno neurálními, biomechanickými a morfologickými adaptacemi. Srovnávání rozdílných tréninkových procesů je obtížné z důvodu rozdílů v tréninkových podmínkách, v celkovém objemu tréninku, celkové práci a tréninkovém čase (Brown, 2000).

Specifičnost IK tréninku ovlivňuje výkony v řadě motorických testů, například při vertikálním skoku. Colliander a Tesch (1998) zaznamenali nárůst ve vertikálním skoku o 8 % po absolvování IK tréninku, který trval 12 týdnů.

Dvir (2004, 147) konstatuje, že „svalová síla a svalový výkon jsou dva parametry, které jsou uznávány, jako ovlivňující sportovní výkon. Studium těchto svalových charakteristik lze získat větší význam pro funkční hodnocení a profilování sportovců při kontrolních měřeních a při prevenci sportovních zranění. Metodami, které jsou využívány k determinaci svalové síly DK je ID, která poskytuje informace o svalové síle specifických svalů nebo svalových skupin při specifické rychlosti. Druhou metodou je vertikální skok, který poskytuje informace o mechanické práci vykonané kinetickým řetězcem extenzorů“.

Specifičnost IK tréninku je zvláště patrná, pokud je IK trénink prováděn po relativně krátkou dobu. Hlavním ukazatelem jsou neurální změny při tréninku, které vedou ke zvýšení svalové síly a výkonu během prvních týdnů tréninku. Změny, které jsou viditelné během tréninku, však nejsou vždy přenositelné do ostatních aktivit. Tento fakt není však obecně známý. Většina osob, které vykonávají IK trénink, věří, že IK trénink zvýší požadovanou sílu v jejich konkrétních sportovních činnostech (Perrin, 1993).

Otázky specifčnosti, spojené s IK testováním a tréninkem flexorů a extenzorů kolena jsou důležité při posuzování sportovního výkonu. Například při zkoumání dřepu a vertikálního skoku je nedílnou součástí zlepšení aktivace zkrácení a natažení svalových skupin. Při IK tréninku však máme výhodu v kontrole rychlosti pohybu, techniky provedení a vnější stálé prostředí, které přispívají ke spolehlivosti a objektivnosti testování a tréninku (Brown, 2000).

IK trénink a testovací programy mohou hrát významnou roli v přípravě sportovce před, během a po skončení tréninkové periody. Tyto vlastnosti se využívají pro identifikaci specifických svalových slabostí, jako predispozice ke svalovému zranění. IK trénink je často zakomponován do tréninkových metod a strategií za účelem zvýšení svalové síly a výkonu (Dvir, 2004).

Porovnání mezi izotonickým tréninkem svalové síly flexorů a extenzorů kolena a izokinetickým tréninkem stejné oblasti, je zřejmé, že silové přírůstky bývají větší u izotonického tréninku. Pokud však zkombinujeme izotonický trénink s doplňkovým izokinetickým tréninkem, jsou silové přírůsty markantnější (Golik-Peric, Drapsin, Obradovic & Drid, 2011).

## **6.4 PRINCIPY IZOKINETICKÉHO TRÉNINKU FLEXORŮ A EXTENZORŮ KOLENA**

IK trénink má celou řadu variací. Všechny byly zkoumány s rozdíly v rychlosti pohybu, v trvání a v efektech na svalovou vytrvalost a výkon. Často používané tréninkové protokoly se týkají rychlosti pohybu a byly nazvány, jako rychlostně specifický trénink. Tento trénink je vykonáván pro podporu optimální neurosvalové odpovědi. Pořadí tréninku je logicky uspořádáno od nízkých k vysokým rychlostem v daných intervalech. Svalový výkon je produktem svalové síly a úhlové rychlosti. Proto je rychlost pohybu důležitým faktorem při sestavování tréninkového protokolu. Pomalé rychlosti při IK tréninku vedou především ke zlepšení maximální síly DK. Plyometrie nebo dřepy s výskoky vedou k rozvoji výbušné síly DK. Vzhledem k tomu, že při ID je řízena akcelerace a decelerace pohybu končetiny, můžeme považovat IK trénink při vysokých rychlostech jako adekvátní prostředek pro rozvoj svalové síly (Perrin, 1993).

Flexory kolena se starají o běžecké činnosti a stabilizují kloub při změnách směru pohybu. Extenzory zajišťují potřebnou sílu například při skocích, odrazech nebo při brzdivých pohybech (Commeti, Maffiuletti, Pousson, Chatard, & Maffulli, 2001).

## 6.6 VÝCHODISKA PRO REALIZACI TRÉNINKOVÉHO PROGRAMU FLEXORŮ A EXTENZORŮ KOLENA

Stejně tak jako je tomu u testových protokolů, jsou i tréninkové programy determinovány cílovou skupinou trénovaných osob. Samotné provedení tréninku je pouze špičkou ledovce, kterému předchází příprava, důležitá zejména pro správnost provedení a předcházení zranění.

Brown (2000) a Dvir (2004) ve shodě uvádí postup měření takto:

- **Zahřátí** – úvodní zahřátí, obsahující statický a dynamický strečink měřeného segmentu, by měl být proveden vždy před zahájením IK tréninku. Jedinou výjimkou může být případ výzkumu, který se konkrétně zaměřuje na sporty, které by za normálních okolností neobsahovaly zahřátí. Zahřátí by mělo trvat alespoň 10 minut. K dynamickým prvkům můžeme zařadit stupňované vertikální výskoky.
- **Fixace** – aby mohl být trénink efektivní a nedošlo k případnému svalovému zranění, je důležité zajistit, aby byl proband správně zafixován a přístroj byl správně nastaven (příloha 3).
- **Familiarizace** – IK trénink není snadný na provedení. Je tedy důležité, aby byl pohyb, vykonávaný během tréninku, dobře nacvičen. Během familiarizace je provedena několik submaximálních kontrakcí, vedoucích k osvojení požadovaného pohybu. Pokud jsou součástí IK tréninku excentrické kontrakce, je důležité, aby proband správně pochopil princip přetlačování ramene dynamometru. Obvykle se během familiarizace provádí 6 – 10 opakování.

- **Rozpoznání dominantní končetiny** – je důležité pro stanovení pořadí měření končetin z důvodu zvýšení efektivity tréninku a adekvátní adaptace na IK trénink. Existuje několik způsobů, jak zjistit dominantní končetinu. Jednak se dotážeme probanda, zda-li si je vědom, která končetina je jeho dominantní, pokud to neví, můžeme probanda podrobit různým zkouškám, jak dominantní končetinu odhalit, např. nechat kopnout přesně do určitého bodu. To provede dominantní končetinou. Je třeba poznamenat, že je nutné, aby testovaný nevěděl k čemu, nebo proč je testován.
- **Realizace samotného tréninku** – po splnění výše uvedených bodů lze přejít k samotnému tréninku (tabulka 3). Při jeho sestavování je však také nutné zvážit použití izometrické preaktivace (IPA), což je funkce dynamometru, která zabraňuje započetí pohybu, pokud proband netlačí do ramene přístroje příslušnou silou, která je předem stanovena. Udává se v jednotkách Nm. Této funkce se užívá při pohybech vysokou úhlovou rychlostí, aby bylo dosaženo maximální síly a nevznikly chyby měření způsobené překonáváním akcelerace a decelerace.

**Tabulka 3.** Tréninkové protokoly rozvoje svalové síly pro různé cílové skupiny osob (Brown, 2000, upraveno)

<b>Tréninkový protokol rozvoje síly</b>	<b>Všeobecný</b>	<b>Rekonvalescenti</b>	<b>Sportovci</b>
<b>Typ kontrakce</b>	con/con	con/con	con/ecc
<b>Rychlost [<math>^{\circ} \cdot s^{-1}</math>]</b>	60	60	60 / 120
<b>Počet opakování</b>	6	6	6
<b>Počet sérií</b>	6	6	až 12
<b>IO mezi sériemi</b>	120 s	120 s	120 - 150 s
<b>IO mezi rychlostmi</b>	120 s	120 s	120 s
<b>IO mezi končetinami</b>	240 s	240 s	300 s

*Vysvětlivky:* con – koncentrický režim

ecc – excentrický režim

IK trénink pro rozvoj svalové síly flexorů a extenzorů kolena se provádí při nízkých rychlostech do  $120^{\circ} \cdot s^{-1}$ . U sportovců se počet sérií může navýšit až dvojnásobně oproti všeobecnému protokolu, lze také nastavit vyšší hodnotu pro IPA. Interval odpočinku musí být dostatečné, aby se stačily obnovit energetické substráty ATP-CP systému.

Pro zvýšení efektivity IK tréninku svalové síly flexorů a extenzorů kolena je možné zařadit do tréninkového cyklu také IK trénink svalové vytrvalosti, který je zaměřen na zvýšení svalové práce a výkonu (Tabulka 4).

**Tabulka 4.** Tréninkové protokoly rozvoje svalové vytrvalosti pro různé cílové skupiny osob (Brown, 2000, upraveno)

<b>Tréninkový protokol svalové vytrvalosti</b>	<b>Všeobecný</b>	<b>Rekonvalescenti</b>	<b>Sportovci</b>
<b>Typ kontrakce</b>	con/con	con/con	con/con
<b>Rychlost [<math>^{\circ}</math>.s<sup>-1</sup>]</b>	120 – 180	120 – 120	120 – 300
<b>Počet zkušebních opakování</b>	0	0	0
<b>Počet opakování</b>	MAX	MAX	MAX
<b>Počet sérií</b>	1 – 3	1	1 – 3
<b>IO mezi sériemi</b>	5 – 10 min	N/A	5 – 10 min
<b>IO mezi rychlostmi</b>	10 – 15 min	N/A	10 – 15 min
<b>IO mezi končetinami</b>	10 – 20 min	10 – 20 min	10 – 20 min

*Vysvětlivky:* con – koncentrický režim

ecc – excentrický režim

IK trénink, zaměřený na svalovou vytrvalost je charakteristický vyššími úhlovými rychlostmi, které mají za následek nárůst celkové práce na úkor maximální svalové síly.

## **Interpretace výsledků**

Nejdůležitějším parametrem je při interpretaci výsledků zcela jistě moment síly, který má řadu podstatných dílčích hodnot.

### **Moment síly**

Chan a Maffuli (1996) uvádí, že první pohled na vrchol momentu síly nám napovídá, jak silný je subjekt. Srovnání s opačnou stranou je velice důležité. Moment síly má vždy 2 maximální hodnoty. První hodnota interpretuje sílu kvadricepsu a druhá pak udává sílu hamstringů. Při porovnávání laterality by mezi stranami měl být rozdíl do 10 %, což je označováno jako dobrá rovnováha. Nerovnováha mezi 10 a 20 % napovídá o možném zranění. Nerovnováha 20 % a více znamená jisté zranění. V případě takto rozdílných hodnot je třeba porovnat křivku průběhu pohybu (MAP) s nepostiženou stranou. Jednotlivé sekce křivky MAP odpovídají různým onemocněním (Příloha 4).

Dauty a Rochongar (2001) dále kontrolují údaje poměru síly flexorů k extenzorům H/Q ratio. U této hodnoty by měla odpovídat síla Kvadricepsu přibližně dvojnásobku síly hamstringů, tedy 50 – 60 %.

Dvir (2004); Brown (2000) používají také poměr momentu síly k hmotnosti těla. Tento poměr interpretuje, jak silný je proband a může tak být porovnáván s nominálními hodnotami.

Čas pro dosažení maxima momentu síly hodnotí schopnost produkovat rychle svalovou sílu a může být použit k určení výbušné síly. Prodloužená doba pro dosažení maximálního točivého momentu může znamenat snížený nábor vláken typu II (Kannus, 1994).

## 6.7 VLASTNÍ SHRnutí POZNATKŮ O IZOKINETICKÉM TRÉNINKU

Svalová síla flexorů a extenzorů kolena je jednou z nejdůležitějších komponent fyzické připravenosti sportovců v řadě odvětví (Dvir, 2004).

Izokinetický trénink je náročný na přípravu a provedení. Hlavní pozornost je třeba věnovat především správnému nastavení přístroje, aby byla zajištěna eliminace negativních pohybů. Dostatečná familiarizace před započítím vlastního tréninku je důležitá a nezbytná, aby nedošlo ke zranění nebo ovlivnění výsledků. Pro rozvoj síly je nejvhodnější použití úhlové rychlosti do  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ . Počet opakování při této rychlosti je zpravidla do 10. Rozvoj vytrvalosti je také důležitý pro zvýšení sportovního výkonu. V tomto případě se používají rychlosti  $120 - 300^{\circ}\cdot s^{-1}$ . Při vysokých rychlostech nehraje hlavní roli maximální moment síly, ale práce vykonaná během cvičení. Proto se počet opakování zvyšuje až na 20 – 30.

Výhodou izokinetického tréninku oproti izotonickému je výsledný protokol, který udává změny parametrů u pracujících svalů a dokáže odhalit případné nerovnováhy a zabránit tak případnému svalovému zranění.

Jako nevýhoda se jeví potřebná motivace do cvičení, která je důležitá pro podání validních a kvalitativních výsledků. Specifičnost izokinetického tréninku pak omezuje možnosti individualizace tréninku tak, aby se co nejvíce podobal běžně vykonávaným situacím.

Každý, kdo si vyzkoušel některý IK program, ví, že čas od času je těžké najít motivaci k maximálnímu výkonu. Vzhledem k tomuto faktu vyžaduje IK cvičení maximální úsilí. Protože je snadné „podvádět“ a nepodstoupit trénink na nejvyšší úrovni intenzity, je vhodné probanda vhodně motivovat s cílem dosažení maximálního úsilí.



## 7 ZÁVĚRY

1. V bakalářské práci byly shromážděny v souladu s cíli práce poznatky o problematice izokinetiky, izokinetického testování a tréninku.
2. Uvedený přehled základních aspektů a zásad IK testování a tréninku může usnadnit orientaci v této problematice a umožní vyhnout se chybám při testování a realizaci tréninkových programů, zaměřených především na svalovou sílu flexorů a extenzorů kolena.
3. Uvedené poznatky a metodická doporučení pro IK testování a trénink mohou být v budoucnu využita při přípravě a realizaci testování a tréninku na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

## 8 SOUHRN

Cílem bakalářské práce bylo prezentovat současné poznatky o izokinetice, IK testování a tréninku s důrazem na rozvoj síly flexorů a extenzorů kolena.

V úvodních kapitolách je prezentován přehled teoretických poznatků o izokinetice. Dále jsou uvedeny poznatky o základních aspektech testování, přehled testovaných segmentů dolní části lidského těla, problematika otevřených a uzavřených řetězců.

Hlavní pozornost byla věnována tvorbě, realizaci a zhodnocení izokinetického testování a tréninku flexorů a extenzorů kolena. V práci jsou uvedeny zásady pro nastavení pozice dynamometru, efekty různých rychlostí pohybu na rozvoj svalové síly nebo fyziologické mechanismy a adaptace na IK trénink. Správné dodržování zásad a doporučení je nezbytné pro správné sestavení, realizaci a interpretaci výsledků izokinetického testování a tréninku s důrazem na rozvoj síly flexorů a extenzorů kolena.

Z uvedených literárních poznatků vyplývá, že IK trénink síly, jako doplněk k tradičním tréninkovým metodám, může být účinný prostředek pro rozvoj síly a zvýšení variability tréninkového procesu.

V práci uvedený přehled základních aspektů a zásad IK testování a tréninku může přispět ke zkvalitnění testování a ověřování tréninkových programů na FTK UP v Olomouci a měl by být východiskem pro sestavení a ověření tréninkového plánu v rámci magisterské práce.

## 9 SUMMARY

The aim of this thesis was to unify current knowledge of Isokinetics, IK testing and training with an emphasis on strength development of knee flexors and extensors.

The introducing part presents an overview of the theoretical knowledge about Isokinetics. The following are the findings on basic aspects of testing, overview of tested segments of the lower part of the human body and the issue of open and closed strings.

The main attention was given to the development, implementation and evaluation of IK testing and training of the knee flexors and extensors. The paper presents the principles for positioning of dynamometer, the effects of different velocity on the development of muscular strength or physiological mechanisms and adaptation to IK training. Proper compliance with the principles and recommendations is essential for proper assembly, implementation and evaluation of isokinetic testing and training with an emphasis on strength development of the knee flexors and extensors.

The above literature findings that IK strength training, as an adjunct to traditional training methods, may be an effective means for developing strength and increased variability in the training process.

The paper provides an overview of the fundamental aspects and principles of IK testing and training can help improve testing and validation of training programs on the FTK UP in Olomouc and should be the starting point for the preparation and verification of training plan in the master thesis

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Baltzopoulos, V., & Brodie, D., A. (1989). Isokinetic dynamometry, applications and limitations. *Sports Medicine*, 8(2), 101–115.
- Bohannon, R. W., & Smith, M. B. (1988). Differentiation of maximal and submaximal knee extension efforts by isokinetic testing. *Clinical Biomechanics*, 3, 215–218.
- Borges, O. (1989). Isometric and isokinetic knee extension and flexion torque in men and women aged 20-70. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 21, 45–53.
- Brown, L. E. (2000). *Isokinetics in human performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Brown, L. E., Sjostrom, T., Comeau, M. J., Whitehurst, M., Greenwood, M., & Findley, B. W. (2005). Kinematics of biophysically asymmetric limbs within rate of velocity development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 298–301.
- Brown, L. E. (2007). *Strength training*. Human Kinetics.
- Burdett, R. G., & Swearingen, J. V. (1987). Reliability of isokinetic muscle endurance tests. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 8, 484–488.
- Cahalan, T., Johnson, M. E., Liu, S., & Chao, E. (1989). Quantitative measurements of hip strength in different age groups. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 246, 136–145.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur french soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 22, 45–51.
- Colliander, E. B., & Tesch, P. A. (1998). Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 140, 31–39.
- Čelikovský, S., Blahuš, P., Chytráčková, J., Kasa, J., Kohoutek, M., Kovář, R., Měkota, K., Stráňai, K., Štěpnička, J., & Zaciorskij, V. M. (1979). *Antropomotorika pro studující tělesnou výchovu*. SPN.

- Dauty, M., Potiron – Josse, M., & Rochcongar, P. (2003). Identification of previous hamstring injuries by isokinetic concentric and eccentric torque measurement in elite soccer players. *Isokinetics and Exercise Science, 11*(3), 139–144.
- Donatelli, R., Catlin, P. A., Backer, G. S., Drane, D. L., & Slater, S. M. (1991). Isokinetic hip abductor to adductor torque ratio in normals. *Isokinetics and Exercise Science, 1*, 103–111.
- Dvir, Z. (2004). *Isokinetics. Muscle Testing, Interpretation and Clinical Applications, second edition*. London: Elsevier Health Science.
- Ewing, J. L., Wolfe, D. R., Rogers, M. A., Amundson, M. L., & Stull, G. A. (1990). Effects of velocity of isokinetic training on strength, power, and quadriceps muscle fiber characteristics. *European Journal of Applied Physiology, 61*, 159–162.
- Freedson, P. S., Gilliam T. B., Mahoney, T., Maliszweski, A., F., & Kastango, K. (1993). Industrial torque levels by age group and gender. *Isokinetics and Exercise Science, 3*, 34–42.
- Ghena, D. R., Kuth, A. L., Thomas, M., & Mayhew, J. (1991). Torque characteristics of the quadriceps and hamstring muscles during concentric and eccentric loading. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 14*, 149–154.
- Golik-Peric, D., Drapsin, M., Obradovic, M., & Drid, P. (2011). Short-term isokinetic training versus isotonic training: effects on asymmetry in strength of thigh Muscles. *Journal of Human Kinetics, 30*, 29–35.
- Hart, D. L., Stobbe, T. J., & Till, C. W. (1984). Effect of trunk stabilization on quadriceps femoris muscle torque. *Physical Therapy, 64*, 375–380.
- Hislop, H. J., & Perrine, J. J. (1967). The isokinetic concept of exercise. *Journal of American Physical Therapy Association, 47*, 114–117.
- Chan, K. M., & Maffulli, N. (1996). Principles and practice of isokinetics in sports medicine and rehabilitation. *Hong Kong Science Magazine, 4*, 26–32.
- Kannus, P. (1994). Isokinetic evaluation of muscular performance: Implications for muscle testing and rehabilitation. *International Journal of Sports Medicine, 15*, 11–18.

- Kovačević, E., Dautbašić, S., Bradić, A., & Babajić, F. (2011). Effects of unilateral isokinetic training on maximum strength of dynamic knee stabilizers. *Homo Sportiscus, 1*, 56–59.
- Lee, M., & Carroll, T., J. (2007). Cross education: possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Medicine, 37*(1), 1–14.
- Lindsay, D. M., Maitland, M. E., Lowe, R. C., & Kane T. J. (1992). Comparison of isokinetic internal and external rotation torque using different testing positions. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 16*, 43–50.
- Mahaffey, B. L., Rosene, J. M., & Tracey, D. F. (2001). Isokinetic hamstrings:quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *Journal of Athletic Training Oct-Dec, 36*(4), 378–383.
- Muller, E. A., & Hettinger, T. W., (1954). The effects of isometric exercise against isotonic exercise on muscles. *Arbeitsphysiology, 15*, 452.
- Neder, J. A., Nery, L. E., Shinzato G. T., Andrade, M. S., Peres, C., & Silva, A. C. (1999). Reference values for concentric knee isokinetic strength and power in nonathletic men and women from 20 to 80 years old. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 29*, 116–126.
- Perrin, D. H. (1993). *Isokinetic exercise and assessment*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Smidt, G. L. (1973). Biomechanical analysis of knee flexion and extension. *Journal of Biomechanics, 6*, 79–92.
- Söderman, K., & Lindström, B. (2010). The relevance of using isokinetic measures to evaluate strength. *Advances in Physiotherapy, 12*(4), 194–200.
- Spencer – Wimpenny, P. (2010). *Isokinetics explained*. Athene Services Ltd.
- Thistle, H. G., Hislop H. J., Moffroid, M., & Lowman, E. W. (1967). Isokinetic contractions: a new concept of resistive exercise, *Archives of Physical Medicine Rehabilitation, 6*, 279–282.

Thomee, R., Renström, P., Grimby, G., & Peterson, L. (1987). Slow or fast isokinetic training after – knee ligament surgery. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 32, 47 –479.

# 11 PŘÍLOHY

## Příloha 1

Normativní hodnoty momentu síly (v Nm) flexe (F) a extenze (E) u mužů, při úhlových rychlostech 60, 180 a 300°·s<sup>-1</sup>, vyjádřeno v procentuálním zastoupení (Freedson et al. in Dvir, 2004).

Normative values (in Nm) of flexion (F) and extension (E) in men, for angular velocities of 60, 180 and 300°/s, based on Freedson et al (1993)											
Angular velocity (°/s)	Percentile	<21 years		21–30 years		31–40 years		41–50 years		>50 years	
		F	E	F	E	F	E	F	E	F	E
60	90	163.7	255.2	171.5	267.8	163.5	256.3	159.3	240.0	143.7	222.0
	70	139.0	225.2	149.8	233.2	143.7	218.7	139.0	214.1	129.1	198.0
	50	126.1	203.4	133.6	209.5	130.2	196.6	125.2	189.8	111.9	171.9
	30	113.9	185.1	120.7	188.5	116.1	177.6	118.0	172.5	101.8	152.8
	10	101.8	156.3	103.7	162.7	98.9	152.3	97.1	148.5	88.1	126.9
180	90	114.9	150.5	118.0	153.2	111.2	142.1	109.7	133.6	94.4	115.7
	70	98.3	129.5	102.4	132.9	96.3	122.0	91.5	111.9	81.8	101.6
	50	89.5	116.6	92.2	118.7	87.5	108.5	83.0	99.7	71.9	90.9
	30	73.9	105.1	82.0	106.4	78.6	95.6	72.5	89.0	67.1	74.2
	10	67.5	90.9	69.2	90.9	63.1	79.3	61.7	73.9	53.3	59.0
300	90	97.2	107.4	96.7	108.8	90.2	101.0	85.4	92.9	76.3	86.5
	70	81.4	92.9	81.4	91.5	76.6	84.1	73.2	76.6	65.1	70.4
	50	71.9	82.0	71.9	80.7	67.8	72.5	64.4	65.8	59.0	60.7
	30	63.1	72.5	63.7	70.5	59.0	63.1	55.6	56.3	50.3	46.2
	10	51.3	61.0	52.2	58.7	47.4	50.9	43.4	45.4	40.0	34.6

*Vysvětlivky:* Angular velocity – úhlová rychlost



## Příloha 1 (pokračování)

Normativní hodnoty momentu síly (v Nm) flexe (F) a extenze (E) u žen, při úhlových rychlostech 60, 180 a 300°·s<sup>-1</sup>, vyjádřeno v procentuálním zastoupení (Freedson et al. in Dvir, 2004).

Normative values (in Nm) of flexion (F) and extension (E) in women, for angular velocities of 60, 180 and 300°/s, based on Freedson et al (1993)											
Angular velocity (°/s)	Percentile	<21 years		21–30 years		31–40 years		41–50 years		>50 years	
		F	E	F	E	F	E	F	E	F	E
60	90	101.2	160.0	108.5	176.3	109.8	167.9	105.8	152.3	93.2	120.4
	70	90.2	144.4	94.2	149.8	94.1	148.2	91.8	129.5	77.0	109.7
	50	82.7	132.9	86.8	135.6	84.1	131.5	84.1	120.7	69.2	106.4
	30	74.6	120.0	79.3	123.4	76.6	118.7	73.9	109.6	55.5	91.8
180	10	62.4	103.1	67.8	105.1	64.8	100.8	61.7	98.0	46.5	67.1
	90	71.2	90.2	71.2	92.2	69.6	87.5	62.1	75.5	51.1	60.7
	70	60.3	78.0	64.4	80.4	60.3	73.9	55.6	63.7	47.7	51.8
	50	54.9	70.5	57.6	71.9	53.3	65.1	50.2	56.3	39.3	40.0
300	30	48.1	65.1	51.5	63.1	47.9	57.0	45.4	50.2	30.4	35.0
	10	40.0	52.9	42.0	52.7	38.6	47.2	36.2	42.8	14.1	23.3
	90	57.0	63.1	59.0	63.2	54.9	58.7	50.0	50.0	42.8	42.3
	70	48.8	52.9	50.2	53.6	46.6	47.5	44.3	40.7	39.5	32.5
	50	43.4	46.8	44.7	46.8	40.7	40.7	38.0	38.0	29.2	23.7
	30	37.3	41.4	38.6	40.7	35.9	34.6	33.2	29.8	25.1	19.0
	10	28.5	34.6	31.9	32.5	28.5	27.8	25.8	25.1	11.9	6.8

*Vysvětlivky:* Angular velocity – úhlová rychlost

## Příloha 2

Výsledky koncentrického IK testování u běžné populace při rychlostech 60 a 300°.s<sup>-1</sup>  
(Neder et al., 1999, upraveno)

	60°.s-1 (3 op.)			300°.s-1 (30 op.)	
	<i>PT [Nm]</i>	<i>W [J]</i>	<i>TW [J]</i>	<i>AP [W]</i>	<i>TAE [Nm]</i>
<b><i>Muži (n = 45)</i></b>					
<b><i>Extenze</i></b>					
<i>Pravá</i>	172	182	1,628	217	42
<i>Levá</i>	172	179	1,607	211	44
<b><i>Flexe</i></b>					
<i>Pravá</i>	96	112	987	137	27
<i>Levá</i>	97	112	907	126	25
<b><i>Ženy (n = 51)</i></b>					
<b><i>Extenze</i></b>					
<i>Pravá</i>	112	118	980	134	26
<i>Levá</i>	107	114	1,032	135	27
<b><i>Flexe</i></b>					
<i>Pravá</i>	58	68	557	76	15
<i>Levá</i>	56	65	470	70	15

## **Příloha 2 (pokračování)**

*Vysvětlivky:* PT – maximální moment

W – práce

TW – celková práce

AP – průměrný výkon

TAE – celková akcelerační energie

### Příloha 3



Pozice opěrky ramene dynamometru. Spodní část opěrky se svým spodním okrajem dotýká mediálního malleolu (označeno hvězdičkou). (Spencer-Wimpenny, 2010).



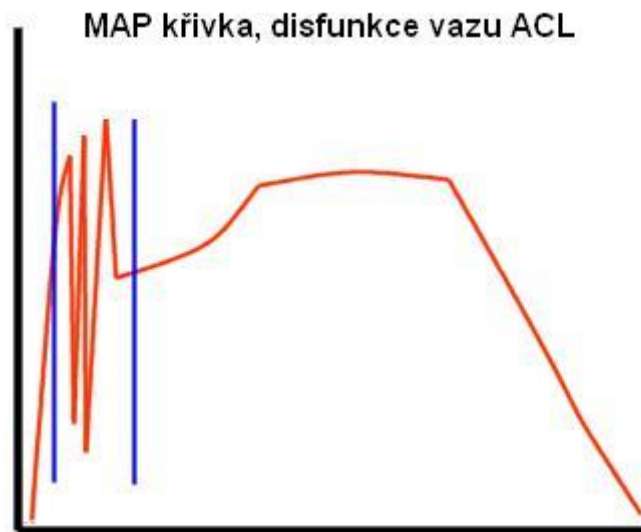
Nastavení hlavy dynamometru. Střed osy otáčení ústí do laterálního epikondylu femuru. (Spencer-Wimpenny, 2010).

## Příloha 4



Dvojitý vrchol křivky je typický pro osoby s poraněním menisku. Při flexi a extenzi dochází k pohybu styčných ploch a poškozený meniskus je pod tlakem, reakce na tlak je bolest a snížení inhibice. Tím vzniká snížení intenzity síly a propad na křivce MAP (Chan & Maffuli, 1996, upraveno)

#### Příloha 4 (pokračování)



Při poranění ACL je na MAP křivce často vidět několik hrotů v rané fázi křivky. Opět se tento jev váže na svalovou inhibici. Dochází k tomu v situaci, kdy je koleno v plné extenzi a hamstringy se snaží koleno ohnout. V této chvíli dochází také k reflexním kontrakcím quadricepsu a výsledkem je inhibice hamstringu, protože ACL nedokáže plně kontrolovat pohyb. Tento cyklus se několikrát opakuje (Chan & Maffuli, 1996, upraveno).