Statický strečink – funkce a účinky: přehledová studie

Jaroslav Křištofič*

Fakulta tělesné výchovy a sportu, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

Copyright: © 2017 J. Křištofič. Toto je open access článek vydaný pod Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Východiska: Z historického pohledu byly pozitivní účinky statického strečinku někdy až nekriticky nadhodnocovány, což se projevovalo mimo jiné i ve struktuře rozcvičení před výkonem. Současný pohled je vůči aplikaci statického strečinku a jeho vlivu na pohybový systém kritičtější s důsledkem redukce jeho zařazování především v úvodní části tréninkové jednotky. Studie a výzkumné projekty k tomuto tématu se však ve svých závěrech mnohdy rozcházejí a nejasnosti v teoretické rovině mohou být podkladem nesystémových přístupů v praktických aplikacích. **Cíl:** Cílem studie je porovnat názory odborníků na funkci statického strečinku a popsat jeho účinky na pohybový systém. **Metodika:** Zdrojem informací pro tuto studii je literární rešerše především ze zahraničních příspěvků k tématu funkce strečinku a jeho vlivu na pohybový systém. Vzhledem k širší problematice byla vymezena a zpracována nejvíce diskutovaná dílčí témata. Názorová nejednotnost odborníků na funkci statického strečinku se týká především otázky jeho zařazování do celkového rozcvičení, funkce statického strečinku z hlediska prevence zranění a jeho vlivu na svalový výkon. Preference statické, nebo dynamické formy strečinku ve vztahu ke specifickým účelům prolíná všemi dílčími tématy. **Závěry:** Odborná veřejnost je jednotná v názoru na pozitivní účinek statického strečinku na konci tréninkové jednotky, ne však v názoru na jeho funkci v rámci rozcvičení před výkonem. Jeho funkce z hlediska prevence proti zranění není prokázána, ale ani vyvrácena. Stále více odborníků se přiklání k názoru, že tuto funkci plní především zahřívací část rozcvičení. Odborná veřejnost připouští negativní vliv statického strečinku aplikovaného před rychlostně silovým výkonem, ale současně nenalézá dostatek důkazů pro jeho plošné vyřazení z rozcvičení. Zařazení statického strečinku do rozcvičení a způsob jeho provádění se odvíjí od charakteru zátěže a pro některé sporty zůstává nedílnou součástí tohoto procesu. Současným trendem je přechod k aktivním formám rozcvičení.

Klíčová slova: statický strečink, dynamický strečink, svalová tuhost, svalový výkon

Úvod

V historickém kontextu lze za základního propagátora strečinku označit Boba Andersona, který v roce 1980 vydal knihu „Strečink“ a svojí aktivitou se zasadil o šíření principů strečinku do širokého sportovního společenského povědomí. Postupem času začaly být účinky strečinku (především statického) někdy až nekriticky nadhodnocovány. To se významně projevovalo například ve struktuře rozcvičení před výkonem, které bylo často redukováno na zahřívací část a protahovací cvičení statického charakteru na úkor dynamického rozcvičení. Koncem devadesátých let

se vůči aplikaci statické formy strečinku začaly objevovat kritické připomínky. Jedním z kritiků byl Kurz (1994), který ve své práci uvedl, že provádění statických strečinkových cviků před tréninkem tvořeným dynamickými pohyby je kontraproduktivní. Kritické připomínky se vztahovaly především ke změnám viskózně elastických parametrů protahovaných svalů s možným negativním vlivem na rychlost jejich kontrakce. Jako další bylo uváděno snížení reflexní aktivity svalů (Rosenbaum & Hennig, 1995). Přes přibývajících kritické ohlasy se statický strečink jako součást rozcvičení ve velké míře praktikoval dále, až v posledním desetiletí dochází k výraznému přehodnocování tohoto přístupu. Některé sporty vyřadily nebo značně zredukovaly statické protahovací cviky v rámci rozcvičení a přecházejí na formy aktivního rozcvičení s využitím dynamického strečinku a mobilizačních

* Korespondenční adresa: Jaroslav Křištofič, Katedra gymnastiky, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Univerzita Karlova, José Martího 31, 160 00 Praha, Česká republika. E-mail: jkristofic@ftvs.cuni.cz

pohybů. Rešeršní charakter této studie vyžaduje pro vyjádření obsahu citací a vzhledem k překladu specifických výrazů z angličtiny vymezení některých dále užívaných pojmů:

- *Statický strečink* – protažení konkrétní svalové partie s výdrží v krajní poloze, nejčastěji uváděná doba výdrže je 6–30 s (Alter, 1999).
- *Dynamický strečink* – krajního rozsahu pohybu je dosahováno opakovanými dynamickými pohyby tělesného segmentu v konkrétním směru. Intenzita může být různá jak ve smyslu rychlosti pohybu, tak dosahovaného rozsahu.
- *Balistický strečink* – je výjimečným druhem dynamického strečinku, kdy je hraničních rozsahů dosahováno účinkem zvýšené kinetické energie z „náprahu“, po kterém následuje švihový pohyb daného segmentu v konkrétním směru.
- *Mobilizační pohyby* – krouživé a komíhavé pohyby končetin bez výrazného silového působení, jejichž účinkem dojde k vyplavení synoviální tekutiny v kloubu, k prokrvení a prohřátí kloubních struktur, respektive k uvolnění kloubního spojení (Křištofič, 2014). V zahraniční literatuře bývají tyto činnosti označovány jako pasivní pohyby (passive motion).
- *Stiffness* – anglický výraz, který vyjadřuje „tuhost“, respektive průběh nárůstu odporu protahované tkáně. Vyjadřuje sklon křivky ($tg \varphi$) závislosti působící síly a míry protažení, je charakteristikou elasticity. S příslušným adjektivem charakterizuje okamžitou odezvu příslušného komplexu sval–šlacha nebo kloubního spojení na protažení.
- *Peak torque* – anglický výraz pro největší hodnotu točivého, respektive krouticího momentu. Vyjadřuje působení síly na bod vzdálený od osy otáčení, v biomechanice je jedním z parametrů pro vyjádření působení rotačních sil v kloubu.

Vymezení problému

Názorová nejednotnost odborníků v rámci tématu „strečink“ se týká především otázky zařazování statického strečinku v rámci rozcvičení, funkce statického strečinku jako prostředku preventivní ochrany před zraněním a jeho vlivu na svalový výkon. Je nutné rozlišovat statický strečink jako součást přípravy před výkonem, statický strečink zaměřený na zvětšení kloubního rozsahu nad zatím dosaženou úroveň a statický strečink relaxačního charakteru, který má napomoci nastartovat regenerační procesy. Aplikace statického strečinku vzhledem k těmto funkcím by

se měla různit jak z hlediska použité techniky protahování, intenzity, tak z hlediska zařazení v rámci tréninkové jednotky. Cílem této studie je na základě literární rešerše vyprofilovat názory odborné veřejnosti na aplikaci statického strečinku vzhledem ke specifickým účelům. V rámci tématu jsou vyděleny čtyři specifické oblasti.

1) *Benefity statického strečinku v historickém kontextu*

Účelem této části není historický exkurz, ale připomenutí vzniku fenoménu „strečinku“ a s ním spojených účinků. V historickém kontextu je statický strečink vnímán především jako prostředek preventivní ochrany před zraněním, prostředek pro ovlivňování kloubní pohyblivosti a přípravu nervosvalového systému před výkonem. Akeson, Amiel a Woo (1980) ve své studii uvádějí, že statický strečink napomáhá k ukládání glykoaminoglykanů, které „promazávají“ vlákna vazivové tkáně a brání jejich slepení, což významně ovlivňuje elastické vlastnosti svalů.

Základním prostředkem prevence poškození pohybového systému náročným statickým i dynamickým zatěžováním je jeho příprava pomalými protahovacími cviky (Semiginovský, 1987). Pomalým protažením nedochází k aktivaci strečového reflexu a je možné tak bezpečně dosáhnout většího rozsahu pohybu. Strečink napomáhá k ideomotorickému sebezpoznávání s proprioceptivní vazbou. Autor vymezuje rozdílný fyziologický účinek statického strečinku pro úvodní a závěrečnou fázi tréninkové jednotky. Úvodní strečink má aktivizující účinek, protažení až k prahu bolestivosti, výdrž 4–6 s. Při nižší intenzitě a delší výdrži je účinek naopak relaxační, až tlumivý. V rámci rozcvičení tak podmiňuje místní přípravný reflexní účinek s optimalizací místního prokrvení a svalového tonusu a celkový vzestup aktivační úrovně centrální nervové soustavy prostřednictvím „budičů“ podnětových vlivů z proprioceptorů. Kolář, Kopřivová a Kopřiva (1988) považují za pozitiva protahovacích cvičení statického charakteru, zařazovaných v úvodní části tréninkové jednotky, především zmnožení proudu aferentních informací, které přivádějí mozkovou kůru do stavu zvýšené bdělosti a stimulují větší dráždivost svalů, dále pak lepší prokrvení svalů vlivem místního působení tlakových změn.

Alter (1999) uvádí, že statický strečink může prohloubit pohybové vnímání, může snížit svalové napětí, svalovou bolestivost a nebezpečí úrazu. Statický strečink vede po určité době ke změně délky vaziva obalující svaly. Tato změna je však dočasná. Nadměrné prodloužení struktury vazů a šlach by mohlo vést ke zhoršení funkčnosti kloubů, k jejich destabilizaci

a ke zranění. Protahování je cíleno především na svaluovou fascii, která je také více ovlivnitelná. Chceme-li ovlivňovat rozsah pohybu v koordinačních souvislostech, musíme použít dynamický strečink. Statický strečink nemá podle autora prakticky žádný vliv na zvýšení tělesné teploty ani na prokrvení tkání, statický strečink není rozcvičení, to by mělo strečinku předcházet. U aplikace statického strečinku doporučuje Alter (1999) 3 opakování s výdrží 10 s, nebo jedno protažení s výdrží 20–30 s. U dynamického strečinku doporučuje 8–12 opakování. Za nejvhodnější dobu pro statický strečink zaměřený na zvětšení rozsahu pohybu považuje úsek těsně po hlavní části tréninku, kdy mají svaly nejvyšší teplotu.

2) Funkce statického strečinku jako protiúrazové prevence

Hlavními uváděnými důvody pro zařazování strečinku do tréninkového programu je důvěra v pozitivní ovlivnění sportovního výkonu a redukci rizika svalového zranění (Witvrouw, Mahieu, Danneels, & McNair, 2004). V této studii se autoři vyjadřují k účinkům strečinku obecně bez specifikace jeho typu (statický, dynamický) a uvádějí, že strečink může mít vliv na snížení rizika úrazu pouze u sportů s projevy explozivní svalové síly. Shellock a Prentice (1985) uvádějí, že statická protahovací cvičení před výkonem připraví kloubně svalový aparát na fyzickou zátěž v rámci sportovních aktivit zvětšením kloubního rozsahu pohybu, který podporuje zlepšení výkonu za současného snížení rizika zranění. Nakamura, Ikezoe, Tokugawa a Ichihashi (2015) prokázali ve své práci snížení svalové tuhosti (stiffness) u *m. gastrocnemius* jak po aplikaci klasického statického strečinku, tak po aplikaci metody proprioceptivní neuromuskulární facilitace (PNF). Uvádějí, že toto snížení může být prostředkem pro pozitivní ovlivnění sportovního výkonu i jako prevence proti zranění. Základním neurofyzilogickým mechanismem PNF je cílené ovlivňování motorických neuronů předních rohů míšních prostřednictvím aferentních impulzů ze svalových, šlachových a kloubních proprioreceptorů. Metodika PNF používá pro zvětšení rozsahu pohybu více různých technik. Základními jsou technika „kontrakce – relaxace“, „výdrž – relaxace“ a jejich variace. Předpokládané a dříve historicky přijímané snížení rizika zranění statickým strečinkem je v současnosti zpochybňováno, respektive je považováno za neprokázané. Tým australských vědců (Pope, Herbert, Kirwan, & Graham, 2000) provedl experiment na vzorku 1538 vojáků, kteří ve dvou téměř stejně početných skupinách absolvovali 12 týdnů trvající pohybový program.

První skupina absolvovala v rámci rozcvičení statický strečink (výdrž v protažení 20 s, jedno provedení u šesti skupin svalů dolních končetin), druhá rozcvičení bez strečinku. Výzkum byl zaměřen na zranění v oblasti dolních končetin, kdy byly jednotlivé defekty typologicky popsány pro účely evidence. Kategorizace vycházela z lokalizace úrazu a jeho typu, který zohledňoval porušení kostní tkáně (např. únavové zlomeniny) a úrazy měkkých tkání (poranění svalů, šlach a vazů, bolestivost či omezení funkce kloubů, léze menisků, burzitidu apod.). Celkově bylo zaznamenáno 333 zranění v oblasti dolních končetin, z toho 158 u skupiny, která prováděla statický strečink a 175 u kontrolní skupiny. Výsledky studie neprokázaly na statisticky významné úrovni vliv statického strečinku na snížení počtu úrazů dolních končetin. Větší váhu z hlediska prevence zranění přikládají autoři teplotě svalů, respektive dynamické zahřívací části rozcvičení. S tím korespondují i závěry práce Kirendalla a Dvoraka (2010), kdy uvádějí, že náležitě provedená zahřívací část rozvíčky může zredukovat riziko zranění až o 30 %. Ke zpochybnění funkce statického strečinku jako protiúrazové prevence se přidávají Black a Jones (2001), Herbert a Gabriel (2002), Olsen, Myklebust, Engebretsen, Holme a Bahr (2005), McMillan, Moore, Hatler a Taylor (2006) a doporučují aplikaci statického strečinku až v závěru tréninkové jednotky.

Na pozitivním účinku statického strečinku v závěru tréninkové jednotky (relaxační efekt a předcházení zkrácení svalů) je většinová odborná shoda, ne však na jeho aplikaci v rámci rozcvičení ať již z preventivních, nebo jiných důvodů. Bujan et al. (2011) doporučují aplikaci statického strečinku jak před výkonem, z důvodu redukce potenciálního rizika zranění a zvětšení rozsahu pohybu v kloubních spojeních, tak v závěru tréninkové jednotky v rámci zotavení. Ve spojitosti s aplikací statického strečinku někteří autoři upozorňují na nebezpečí snížení kloubní stability v důsledku zvýšeného rozsahu pohybu v kloubním spojení. Uvádějí, že hypermobilita i hypomobilita jsou stavy, které zvyšují míru rizika zranění (Alter, 1999; Knudson, 2006). Knudson (2006) vyjadřuje názor, že osoby se zkrácenými svaly mají blíže ke svalovému zranění a osoby s oslabenými svaly blíže ke kloubnímu zranění. Rogan, Wüst, Schwitter a Schmidtbleicher (2013) se ve své přehledové studii zaměřili na literární zdroje o vlivu statického strečinku na prevenci poranění hamstringů u fotbalistů. Výstup studie je spíše metodologické povahy. Autoři se vyjadřují k odlišnostem výzkumných protokolů (parametry intervence, diagnostika) a ke kvalitě studií, kdy z důvodů této

heterogenity nemohlo dojít k sumárnímu vyhodnocení získaných dat. V závěru uvádějí, že nebyly k dispozici žádné „randomizované kontrolované studie“, což by mohlo mít negativní vliv na objektivitu takovýchto výzkumů. Magnusson a Renström (2006), kteří se ve své práci také zabývají analýzou studií zaměřených na prokázání vlivu statického strečinku na snížení rizika zranění, vidí obtížnost výzkumů na toto téma v nutnosti velkého počtu probandů (a tedy i finanční náročnosti), v obtížné kontrole zdravotního stavu před výzkumem a v množství faktorů, které zdravotní stav probandů ovlivňují. Různorodost výsledků jednotlivých studií je vede k závěru, že v současnosti není dostatek důkazů o pozitivním vlivu statického strečinku na zmenšení rizika úrazu. Názor odborníků na pozitivní vliv statického strečinku z hlediska prevence zranění je nejednotný především proto, že je tato funkce technicky obtížně prokazatelná, ale zatím ji nelze ani vyloučit. Přibývá však počet autorů, kteří jako protiúrazovou prevenci upřednostňují funkci zahřívací části rozcvičení (Pope et al., 2000; Knapik et al., 2003; Kirkendall & Dvorak, 2010).

3) Statický strečink versus dynamický strečink v rámci rozcvičení

Tato část je zaměřena na názory odborné veřejnosti na účelnost zařazení statického, respektive dynamického strečinku do rozcvičení z hlediska jiných než zdravotně preventivních funkcí. Ačkoliv je hlavním tématem tohoto příspěvku funkce statického strečinku, nelze v některých dílčích tématech, především pak ve vztahu k rozcvičení, opominout funkci dynamického strečinku. Někteří autoři poukazují na to, že statický strečink bývá do rozcvičení zařazován spíše z tradičních důvodů než na základě objektivně prokázaných pozitivních účinků (McMillian et al., 2006; Young & Behm, 2003). Smith (1994) ve své studii vyprofiloval jako hlavní cíle rozcvičení zvýšení pružnosti svalů a šlach, prokrvení vnitřních orgánů a periferních segmentů, zvýšení tělesné teploty a stimulaci koordinace pohybů. K naplnění těchto náležitostí nepostačuje ani statický, ani dynamický strečink. Strečink může být součástí rozcvičení, ale nemůže plnit komplexní funkci rozcvičení. Statický strečink neovlivňuje prokrvení vnitřních orgánů, ani zvýšení tělesné teploty a nestimuluje koordinaci pohybů (Alter, 1999). Dynamický strečink některé tyto funkce ovlivňuje, ale ne komplexně. Knudson (2006) se ve své práci zabývá biomechanickou odpovědí tkání na strečink a považuje za nutné rozlišovat okamžitou a chronickou odezvu. Uvádí, že bezprostředně po aplikaci statického strečinku nastává zvýšení rozsahu pohybu,

který má tendenci přetrvat cca 60–90 min. Současně dochází ke krátkodobé redukci u většiny z forem projevů svalového výkonu. Autor uvádí, že změna viskózně elastických parametrů protahovaných měkkých tkání závisí také na rychlosti protažení. V souhlasu s McNairem, Dombroskim, Hewsonem a Stanleyem (2000) postrádá přesvědčivé důkazy o okamžitém snížení svalové tuhosti po aplikaci statického strečinku a za prostředek pro její snížení považuje především zahřívací část rozcvičení. Jako dlouhodobý efekt po aplikaci statického strečinku označuje Knudson (2006) zvětšení rozsahu pohybu (o 5–31 % nad úroveň zatím dosaženého maxima za 3–6 týdnů), ale také tendence ke zvýšení pasivního napětí a tuhosti svalů.

Bishop (2003b) ve své studii preferuje aktivní formu rozcvičení (bez statického strečinku) a uvádí, že tento způsob rozcvičení může pozitivně ovlivnit krátkodobý výkon v celé řadě činností až do nástupu únavy. Důvod vidí především v souvislosti se zvýšením tělesné teploty, ve snížení tuhosti svalů a kloubů, zvýšení rychlosti přenosu nervových impulsů a ve zvýšení intenzity metabolických procesů. Výrazy jako „aktivní rozcvičení“, „dynamické rozcvičení“, „dynamický strečink“ používané jednotlivými autory mají společný základ, že zde nejsou prováděny výdrže v protažení. V základním popisu tyto výrazy nebývají provázány specifikací ve smyslu rychlosti, průběhu a rozsahu pohybu. McMillian et al. (2006) považují za možné, že aktivní činnosti spojené se zvýšením tělesné teploty lépe připraví svalovou tkáň na absorpci zatížení, které by jinak mohlo být přeneseno na jiné struktury, jako jsou vazy, šlachy, nebo skelet. Také Church, Wiggins, Moode a Crist (2001) se přiklání k dynamickému rozcvičení a zdůvodňují to tím, že je možné tímto způsobem zvýšit flexibilitu, aniž by došlo k redukci aktivovaných motorických jednotek, což bývá přisuzováno statickému strečinku. K aplikaci dynamického strečinku v rámci rozcvičení a k vyřazení jeho statické formy z tohoto procesu se hlásí také Young a Behm (2003), zvláště pak před silovými aktivitami. Knapik et al. (2003) prováděli devítitýdenní experiment s vojáky US Army a prokázali signifikantně vyšší výkony v testech tělesné zdatnosti po rozcvičení s dynamickým strečinkem oproti jeho statické formě. Za účel dynamického strečinku považují zvýšení tělesné teploty a srdeční frekvence, zvýšení flexibility kloubů a svalů, zvýšení senzitivity nervosvalového aparátu a snížení rizika zranění. Kirkendall a Dvorak (2010) považují dynamický strečink za klíčovou část rozcvičení jak ve smyslu přípravy na výkon, tak ve smyslu prevence zranění. Borges Bastos et al. (2013) se v závěru své studie shodují

s Kurzem (1994) v doporučení zařazovat do rozcvičení pouze dynamický strečink a statický strečink aplikovat až na konci tréninkové jednotky. McMillian et al. (2006) uvádějí, že výkony v silových testech a testech hbitosti po dynamickém strečinku byly v rámci jejich měření signifikantně vyšší než výkony po statickém strečinku nebo bez strečinku. Doporučují přehodnotit zažité zařazování statického strečinku a zaměřit se na aktivní způsob rozcvičení. V závěru doporučují u sportů s vysokými nároky na flexibilitu řadit jednotlivé aktivity v rámci rozcvičení tak, aby statické protažení (je-li to považováno za nezbytné) následovalo až po dynamickém protažení.

V jiných studiích (Dalrymple, Davis, Dwyer, & Moir, 2010; Ogura, Miyahara, Naito, Katamoto, & Aoki, 2007) však autoři uvádějí, že jejich výzkumy nepotvrdily obecně negativní vliv statického strečinku na následný svalový výkon a dodávají, že je nutné přihlížet ke specifice sportu, k individuálním odlišnostem sportovců a délce výdrže v protažení. Power, Behm, Cahill, Carroll a Young (2004) ve své studii uvádějí, že statický strečink aplikovaný před závodem má pozitivní vliv na výkon a funkční schopnosti atleta. Podle Shriera (2004) existují mezi zvýšením svalového výkonu a statickým strečinkem korelační vztahy, různé formy rozcvičení vyvolávají odlišné efekty a měly by korespondovat se strukturou sportovního výkonu. Rosenbaum a Hennig (1995) dospěli k závěru, že není vhodné aplikovat pouze statické strečinkové stereotypy, protože nelze vyloučit jejich „potenciálně nepříznivý účinek na svalovou výkonnost“, a proto doporučují kombinaci s dynamickým strečinkem. Dodávají, že pro některé sporty, vzhledem k jejich specifikám, může být aplikace statického strečinku v rámci rozcvičení nezbytností, s tím jsou v souladu i Gleim a McHugh (1997). Mezi tyto sportovní aktivity patří především sportovní a moderní gymnastika, krasobruslení, sportovní aerobik, některé úpolové sporty a bojová umění. Souhrnně se k této problematice vyjadřují Fradkin, Gabbe a Cameron (2006) prohlášením, že není dostatek důkazů pro vyřazení statického strečinku jak z úvodní, tak závěrečné části tréninkové jednotky. V případě zařazování statického strečinku do rozcvičení je patrný odklon od dlouhých výdrží směrem ke krátkému aktivačnímu protažení. V širokém spektru sportů je pak patrná tendence přecházet k aktivním formám rozcvičení. Dynamické, respektive aktivní rozcvičení, má více podob a jeho součástí by měly být i mobilizační pohyby, pro které jsou charakteristické především krouživé pohyby končetin. Odborná shoda panuje na nezařazování balistického strečinku do rozcvičení z důvodu dosahování

hraničních rozsahů pohybu. Bez patřičné přípravy je jeho aplikace spojena s nebezpečím úrazu.

4) *Vliv statického strečinku na svalový výkon*

Tato část je zaměřena na vliv statického strečinku v rámci produkce svalové síly, respektive na svalový výkon bez ohledu na to, do které části tréninku je strečink zařazen. Odborná veřejnost vyjadřuje nutnost nazírat na tuto problematiku odděleně z hlediska okamžitého krátkodobého a dlouhodobého efektu. Některé studie (Gomez, Simão, Marques, Costa, & Novaes, 2011; Nelson, Kokkonen, & Arnall, 2005) poukazují na negativní okamžitý vliv statického strečinku na svalový výkon, především na projevy dynamické síly. Sekir, Arabaci, Akova a Kadagan (2010) poukazují ve své studii na to, že na rozdíl od statického strečinku může dynamický strečink vyvolat okamžité pozitivní změny v izometrickém i izokinetickém silovém projevu. Marek et al. (2005) se ve své studii zaměřili na okamžitý vliv statického strečinku a PNF na svalový výkon extenzorů dolních končetin. Po aplikaci obou druhů strečinku bylo naměřeno snížení průměrného svalového výkonu příslušných svalů a také snížení maximální hodnoty točivého momentu (peak torque). Příčinu tohoto jevu spatřují autoři ve změně viskózní elastických vlastností měkkých tkání (mechanické faktory) a ve snížení aktivace motorických jednotek, respektive počtu aktivovaných motorických jednotek (neurologické faktory). Současně uvádějí, že naměřené rozdíly hodnot porovnávaných parametrů byly tak malé, že dávají prostor pro zvážení poměru rizika a přínosu aplikace těchto metod strečinku před výkonem. Touto tematikou se ve své studii zabývali i Ayala, De Ste Croix, Sainz de Barandad a Santonjae (2015), kteří se zaměřili na okamžitý vliv statického a dynamického strečinku na svalový výkon a změny točivého momentu flexorů a extenzorů kolenního kloubu jak v koncentrické, tak excentrické kontrakci. Výsledky neprokázaly statisticky významný vliv statického ani dynamického strečinku na okamžitý svalový výkon v koncentrické kontrakci, v excentrické kontrakci, ani v hodnotách točivého momentu. Autoři diskutují rozdílné výsledky své studie a některých jiných autorů a jako jednu z možných příčin uvádějí rozdíl testovací pozice, délku výdrže a intenzitu protažení. V této studii absolvovali respondenti s časovým odstupem 72–96 hod. rozcvičení se statickým strečinkem (2×30 s), s dynamickým strečinkem (2×15 opakování) a bez strečinku. Jiní autoři (Bishop, 2003a; McHugh & Nesse, 2008), kteří vykazují ve svých studiích negativní okamžitý vliv

statického strečinku na silové projevy, uvádějí výdrž v protažení 90 s a více.

Výzkum prezentovaný Bubanjem et al. (2011) neprokázal, že by měla aplikace statického strečinku jakýkoliv statisticky významný vliv na projevy explozivní síly, respektive na hodnotu výkonu ve vertikálním skoku. Ke stejnému závěru dospěli i Dalrymple et al. (2010). Jiné výsledky prezentují ve svých studiích Taylor, Sheppard, Lee a Plummer (2009) a La Torre et al. (2010), jejichž závěrem je konstatování negativního vlivu statického strečinku na úroveň explozivní síly, respektive na výkony ve vertikálním skoku. Jako možnou příčinu uvádějí redukci tuhosti svalového a šlachového systému v rámci daného kloubu a tím snížení elastické energie „uložené“ v tomto systému. Stejným tématem se zabývali Kruse, Barr, Gilders, Kushnick a Rana (2015), kdy ve své studii porovnávali vliv statického a dynamického strečinku na výkon ve vertikálním skoku u volejbalistek. Uvádějí, že zatímco minutu po aplikaci statického strečinku bylo zaznamenáno zhoršení kinetických parametrů (krouticí moment, časové relace odrazu, dynamika nárůstu silového působení), bylo minutu po aplikaci dynamického strečinku zaznamenáno zlepšení všech kinetických parametrů. Druhé měření provedené po patnácti minutách toto zlepšení již nepotvrdilo. Autoři upozorňují na časovou nestálost tohoto jevu s apelem na důležitost této informace pro trenéry.

Rozdílné závěry prezentují také studie zaměřené na dlouhodobý efekt, respektive na vliv statického strečinku ve vztahu k přírůstkům síly v čase. Kokkonen, Nelson, Tarawhiti, Buckingham a Winchester (2010) naměřili v testu svalového výkonu (1RM) po osmítýdenní intervenci u skupiny, která prováděla pravidelný statický strečink, nárůst síly u stehenních svalů a plantárních flexorů až o 31 % vyšší než u kontrolní skupiny bez strečinku. K obdobným závěrům v izometrickém testu síly plantárních flexorů dospěli i Ress, Murphy, Watsford, McLachlan a Coutts (2007) a zvýšení svalové síly přisuzují mechanickému stresu ve svalech a šlachách, který ovlivňuje strukturu kolagenu a proces syntézy proteinu, respektive proces hypertrofické adaptace. Tuto tezi podporuje i práce Mohamada, Nosaka a Cronina (2011) kdy uvádějí, že statický strečink může vyvolávat nervosvalovou, metabolickou a hormonální odezvu s možným zvýšením hypertrofického efektu. Vliv statického strečinku na přírůstek síly z dlouhodobého hlediska zkoumali ve své studii také Borges et al. (2013). Tři nezávislé skupiny prováděly po dobu deseti týdnů stejný silový trénink s tím rozdílem, že první skupina zařadila statický strečink do rozcvičení, druhá skupina jej aplikovala

před každou posilovací položkou a třetí skupina absolvovala celý program bez strečinku. Výsledkem bylo zjištění, že k nárůstu svalové síly u testovaných partií došlo u všech tří skupin, ale k signifikantně nejvyššímu nárůstu došlo u skupiny, která neprováděla statický strečink vůbec. Podle Magnussona a Renströma (2006) je prokázáno, že okamžitě po aplikaci statického strečinku je velikost možné generované síly příslušných svalů redukována, ale z dlouhodobého hlediska může dojít naopak ke zvětšení generované síly. Mechanismus tohoto paradoxu považují zatím za nevysvětlený. Pouhé procentuální porovnání závěrů studií s deklarovaným pozitivním či negativním vlivem statického strečinku v rámci tohoto tématu bez přesnějšího vymezení protokolů intervencí a diagnostiky není relevantním podkladem pro jeho objektivní zhodnocení a je potřeba dalších výzkumů.

Diskuze

Kritickým bodem v rámci posuzování vlivu statického strečinku na pohybový aparát se zdá být postoj jednotlivých autorů ke změnám tuhosti měkkých tkání (stiffness). Nakamura et al. (2015) a Mizuno, Matsumoto a Umemura (2013) uvádějí ve svých studiích signifikantní snížení svalové tuhosti po aplikaci statického strečinku, které podporuje zvětšení rozsahu pohybu, respektive zvýšení svalového výkonu a snížení rizika zranění. Naopak Knudson (2006) ani McNair et al. (2000) nepovažují redukci svalové tuhosti po aplikaci statického strečinku za prokázanou a ve spojitosti s tímto jsou k jeho účinkům v rámci rozcvičení skeptičtí. Oba zdroje se shodují v názoru, že k prokazatelnému snížení svalové tuhosti dochází po aplikaci dynamického strečinku nebo pasivních pohybů. Knudson (2006) upozorňuje na rozdíly v posuzování svalové tuhosti, respektive v definování výrazu „stiffness“ jako na možnou příčinu rozdílných závěrů studií ke stejnému tématu.

Parametry každé pohybové aktivity by měly být vztahovány k funkci, kterou má plnit a takto je nutné přistupovat i ke strečinku. Jinou podobu by měl mít statický strečink, je-li aplikován v rámci rozcvičení (aktivační účinek naplňují výdrže 4–6 s do citelného tahu), jinou statický strečink na konci tréninku, kdy jsou pro navození relaxace příslušných svalů vhodné delší výdrže (20 s a více s menší intenzitou protažení). Chceme-li statickým strečinkem dosáhnout většího rozsahu pohybu než bylo zatím dosažené maximum (např. chceme zvládnout rozštěp), mohou být výdrže v protažení delší a tento proces by měl být aplikován až po rozcvičení, ale ještě před nástupem únavy

příslušných partií. V tomto lze polemizovat s názorem Altera (1999), respektive souhlasit s ním, že vhodná doba pro statický strečink je v závěru hlavní části tréninkové jednotky, kdy jsou svaly nejvíce prokrveny a prohráty, ale toto neplatí v případě, že se chceme posunout nad zatím dosažené maximum a jsme po fyzicky náročném tréninku. V takovém případě je na místě relaxační strečink, překračování již dosažené hranice v únavě by mohlo představovat riziko zranění.

Zvýšený apel na aplikaci dynamického strečinku v rámci rozcvičení lze vnímat jako reakci na dříve nadužívaný statický strečink s poukazem na to, že prokrvení a prohrátí svalů dosažené v zahřívací části rozcvičení by nemělo být následně významně redukováno, že by proces rozcvičení měl být aktivní. Výrazy jako aktivní, nebo dynamické rozcvičení si zaslouží být strukturovány a upřesněny. Pro dynamický strečink jsou charakteristické opakované pohyby v daném směru (přednožení, unožení), pro mobilizační pohyby jsou charakteristické krouživé pohyby ve více směrech volnosti příslušného kloubu, což koresponduje s výrazem „pasivní pohyby“ používaným v zahraniční literatuře. McNair et al. (2000) ve své studii uvádějí, že opakované pasivní pohyby v hlezenním kloubu vedly k signifikantnímu snížení tuhosti plantárních flexorů, zatímco statický strečink ne. S jistou mírou zjednodušení lze říci, že strečink oslovuje především svalovou tkáň a mobilizační pohyby především kloubní struktury. Obě činnosti jsou potřebné, lze je kombinovat a částečně je také implementovat do zahřívací části rozcvičení. Lokomoční pohyb doplněný současnými periferními pohyby končetin charakteru mobilizačních pohybů, respektive dynamického strečinku, vede k prokrvení kloubních a svalových struktur a k jejich prohrátí.

Mnohdy rozdílné výsledky výzkumných prací ke stejnému tématu poukazují na to, že reakce tkání se různí s parametry intervence, v tomto případě strečinku a následné zátěže. Tím je míněna u statického strečinku především intenzita protažení, doba výdrže a doba zotavení před následnou zátěží. U dynamického strečinku především rychlost a intenzita protažení, počet opakování a doba zotavení. Ovlivnění výkonu po aplikaci strečinku se bude různit také s parametry zátěže. Výsledky výzkumů by měly být proto vztahovány ke specifické intervenci a ne k její obecné kategorizaci. V tomto ohledu je větší míra specifikace měřicích protokolů v rámci výzkumů cestou k vyjasnění někdy sporných bodů. Dlouhá léta se pohybují v oblasti gymnastických sportů, kde býval statický strečink pevnou součástí rozcvičení. Tou zůstává ve většině gymnastických sportů i v současnosti, ale

již není zdaleka tak dominantní a bývá doprovázen aktivními formami rozcvičení. Z hlediska zvětšování rozsahu pohybu tělesných segmentů ve sportu obecně dochází k nárůstu v používání metody PNF. O'Hara, Cartwright, Wade, Hough a Shum (2011) uvádějí, že z tohoto hlediska je metoda PNF účinnější než statický strečink. Minshull, Eston, Bailey, Rees a Gleeson (2014) porovnávali účinky metody PNF a statického strečinku aplikovaných na flexory kolenního kloubu. V rámci ovlivňování rozsahu pohybu v kolenním kloubu prováděly dvě skupiny probandů po dobu osmi týdnů ($3 \times$ týdně) specifický protahovací program. Výsledky studie neprokázaly výrazné rozdíly v dosažené úrovni pasivní flexibility, ale prokázaly, že po aplikaci PNF byla zachována schopnost rychlé aktivace svalů, což je důležité pro udržení dynamické stability kloubů.

Závěry

Pro účelné provádění protahovacích cvičení jsou podstatné informace nad rámec dělení na statický a dynamický strečink, informace o intenzitě protažení, době výdrže, počtu opakování, relaxační pauze apod., vždy s ohledem na specifické účely jeho aplikace. Paušální odmítnutí statického strečinku v rámci rozcvičení nemá vzhledem ke specifikám jednotlivých sportů objektivní opodstatnění. U sportů, kde je dosahováno hraničních rozsahů pohybu (gymnastika, krasobruslení), je jeho aplikací naplňován konkrétní účel, to však neplatí obecně pro všechny sporty. Odborná veřejnost je ve shodě v názoru na účelnost aplikace statického strečinku na konci tréninkové jednotky, relaxační funkce statického strečinku v této fázi není zpochybňována. Názor na preventivní protiúrazovou funkci statického strečinku je nejednotný, část odborné veřejnosti tuto možnost připouští. Současně však sílí názor, že podstatnější roli v preventivní ochraně proti svalovému zranění sehrává zahřívací část rozcvičení, respektive míra prokrvení a prohrátí svalů. Výzkumy potvrzují nutnost rozlišovat krátkodobý a dlouhodobý efekt statického strečinku na projevy svalové síly. Většinový názor připouští okamžitý negativní vliv statického strečinku na rychlostně silové výkony. Řada odborníků poukazuje na jeho dlouhodobý pozitivní vliv na hypertrofické procesy a nárůst svalové síly s poznámkou, že toto musí být verifikováno více studiemi. V rámci rozcvičení je nutné vnímat strečink ať již ve statické nebo dynamické formě pouze jako součást tohoto procesu. Obě formy je možné kombinovat, v případě absence jeho statické formy by měly být

ve větší míře zařazovány mobilizační pohyby a dynamický strečink.

Referenční seznam

- Akeson, W. H., Amiel, D., & Woo, S. (1980). Immobility effects on synovial joint: The pathomechanics of joint contracture. *Biorheology*, 17, 95–110.
- Alter, M. J. (1999). *Strečink 311 protahovacích cviků pro 41 sportů*. Praha: Grada Publishing.
- Anderson, B. (1980). *Stretching*. Bolinas, CA: Shelter Publications.
- Ayala, F., De Ste Croix, M., Sainz de Barandad, P., & Santonjae, F. (2015). Acute effects of two different stretching techniques on isokinetic strength and power. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 8(3), 93–102.
- Bishop, D. (2003a). Warm up I: Potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Medicine*, 33, 439–54.
- Bishop, D. (2003b). Warm up II: Performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine*, 33, 483–498.
- Black, J., & Jones, S. (2001). Passive stretching does not protect against acute contraction-induced injury in mouse EDL muscle. *Journal of Muscle Research & Cell Motility*, 22, 301–310.
- Borges Bastos, C. L., Miranda, H., Vale, R. G. S., Portal, M. D. N., Gomes, T. M., Novaes, J. S., & Winchester, J. B. (2013). Chronic effect of static stretching on strength performance and basal serum IGF-1 levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 2465–2472.
- Bubanj, S., Okičić, T., Živković, M., Stanković, R., Bojić, I., & Bubanj, R. (2011). Differences in manifested explosive strength tested by means of the vertical jump with and without previous static stretching. *Facta universitatis: Series: Physical Education and Sport*, 9(2), 151–159.
- Dalrymple, K. J., Davis, S. E., Dwyer, G. B., & Moir, G. L. (2010). Effect of static and dynamic stretching on vertical jump performance in collegiate women volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 149–155.
- Fradkin, A. J., Gabbe, B. J., & Cameron, P. A. (2006). Does warming up prevent injury in sport? The evidence from randomised controlled trials? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9, 214–220.
- Gleim, G. W. & McHugh, M. P. (1997). Flexibility and its effects on sports injury and performance. *Sports Medicine*, 24, 289–299.
- Gomes, T. M., Simão, R., Marques, M. C., Costa, P. B., & Novaes, J. S. (2011). Acute effects of two different stretching methods on local muscular endurance performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 745–752.
- Herbert, R. D., & Gabriel, M. (2002). Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: Systematic review. *British Medical Journal*, 325, 325–468.
- Church, J. B., Wiggins, M. S., Moode, F. M., & Crist, R. (2001). Effect of warm up and flexibility treatments on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15, 332–336.
- Kirkendall, D. T., & Dvorak, J. (2010). Effective injury prevention in soccer. *Physician and Sportsmedicine*, 38, 147–157.
- Knapik, J. J., Hauret, K. G., Arnold, S., Canham-Chervak, M., Mansfield, A. J., Hoedebecke, E. L., & McMillian, D. (2003). Injury and fitness outcomes during implementation of physical readiness training. *International Journal of Sports Medicine*, 24, 372–381.
- Knudson, D. (2006). The biomechanics of stretching. *Journal of Exercise Science & Physiotherapy*, 2, 3–12.
- Kokkonen, J., Nelson, A. G., Tarawhiti, T., Buckingham, P., & Winchester, J. (2010). Early-phase resistance training strength gains in novice lifters are enhanced by doing static stretching. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 502–506.
- Kolář, P., Kopřivová, J., & Kopřiva, Z. (1988). *Fyziologie hybnosti, relaxace a kompenzační cvičení ve sportovní gymnastice*. Praha: ÚV ČSTV.
- Křištofič, J. (2014). *Gymnastické posilování – motoricko-funkční příprava*. Praha: FTVS UK.
- Kruse, N. T., Barr, M. W., Gilders, R. M., Kushnick, M. R., & Rana, S. R. (2015). Effect of different stretching strategies on the kinetics of vertical jumping in female volleyball athletes. *Journal of Sport and Health Science*, 4, 364–370.
- Kurz, T. (1994). *Stretching scientifically: A guide to flexibility training* (3rd ed.). Island Pond, VT: Stadion.
- La Torre, A., Castagna, C., Gervasoni, E., Cè, E., Rampichini, S., Ferrarin, M., & Merati, G. (2010). Acute effects of static stretching on squat jump performance at different knee starting angles. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 687–694.
- Magnusson, P., & Renström, P. (2006). The European college of sports sciences position statement: The role of stretching exercises in sports. *European Journal of Sport Science*, 6(2), 87–91.
- Marek, S. M., Cramer, J. T., Fincher, A. L., Massey, L. L., Dangelmaier, S. M., Purkayastha, S., ... Culbertson, J. Y. (2005). Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *Journal of Athletic Training*, 40(2), 94–103.
- McHugh, M. P., & Nesse, M. (2008). Effect of stretching on strength loss and pain after eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40, 566–73.
- McMillian, D. J., Moore, J. H., Hatler, B. S., & Taylor, D. C. (2006). Dynamic versus static-stretching warm up: The effect on power and agility performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20, 492–499.
- McNair, P. J., Dombroski, E. W., Hewson D. J., & Stanley, S. N. (2000). Stretching at the ankle joint: Viscoelastic responses to holds and continuous passive motion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 354–358.
- Minshull, C., Eston, R., Bailey, A., Rees, D., & Gleeson, N. (2014). The differential effects of PNF versus passive stretch conditioning on neuromuscular performance. *European Journal of Sport Science*, 14, 233–241.
- Mizuno, T., Matsumoto, M., & Umemura, Y. (2013). Viscoelasticity of the muscle-tendon unit is returned more rapidly than range of motion after stretching. *Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports*, 23, 23–30.
- Mohamad, N. I., Nosaka, K., & Cronin, J. (2011). Maximizing hypertrophy: Possible contribution of stretching

- in the interser rest period. *Strength and Conditioning Journal*, 33, 81–87.
- Nakamura, M., Ikezoe, T., Tokugawa, T., & Ichihashi, N. (2015). Acute effects of stretching on passive properties of human gastrocnemius muscle-tendon unit: Analysis of differences between hold-relax and static stretching. *Journal of Sport Rehabilitation*, 24, 286–292.
- Nelson, A. G., Kokkonen, J., & Arnall, D. A. (2005). Acute muscle stretching inhibits muscle strength endurance performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 338–343.
- Ogura, Y., Miyahara, Y., Naito, H., Katamoto, S., & Aoki, J. (2007). Duration of static stretching influences muscle force production in hamstring muscles. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 788–792.
- O'Hara, J., Cartwright, A., Wade, C. D., Hough, A. D., & Shum, G. L. (2011). Efficacy of static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation stretch on hamstrings length after a single session. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25, 1586–1591.
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., & Bahr, R. (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: Cluster randomized controlled trial. *British Medical Journal*, 330, 330–349.
- Pope, R. P., Herbert, R. D., Kirwan, J. D., & Graham, B. J. (2000). A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 271–277.
- Power, K., Behm, D., Cahill, F., Carroll, M., & Young, W. (2004). An acute bout of static stretching: Effects on force and jumping performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1389–1396.
- Ress, S. S., Murphy, A. J., Watsford, M. L., McLachlan, K. A., & Coutts, A. J. (2007). Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on stiffness and force-producing characteristics of the ankle in active women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 572–577.
- Rogan, S., Wüst, D., Schwitter, T., & Schmidtbleicher, D. (2013). Static stretching of the hamstring muscle for injury prevention in football codes: Systematic review. *Asian Journal of Sport Medicine*, 4, 1–9.
- Rosenbaum, D., & Hennig, E. M. (1995). The influence of stretching and warm-up exercises on Achilles tendon reflex activity. *Journal of Sport Sciences*, 13, 481–490.
- Sekir, U., Arabaci, R., Akova, B., & Kadagan, S. M. (2010). Acute effects of static and dynamic stretching on leg flexor and extensor isokinetic strength in elite women athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 268–281.
- Semiginovský, B. (1987). *Fyziologické základy biotechnologie řízené sportovní přípravy*. Praha: Univerzita Karlova.
- Shellock, F. G., & Prentice, W. E. (1985). Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Medicine*, 2, 267–278.
- Shrier, I. (2004). Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14, 267–273.
- Smith, C. A. (1994). The warm up procedure: To stretch or not to stretch. A brief review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 19, 12–17.
- Taylor, K., Sheppard, J., Lee, H., & Plummer, N. (2009). Negative effect of static stretching restored when combined with a sport specific warm-up component. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 657–661.
- Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L., & McNair, P. (2004). Stretching and injury prevention: An obscure relationship. *Sports Medicine*, 34, 443–449.
- Young, W. B., & Behm, D. G. (2003). Effects of running, static stretching and practice jumps on explosive force production and jumping performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43, 21–27.

Static stretching – functions and effects: Review

Background: From a historical point of view the positive effects of static stretching were uncritically over-estimated, this was evident in the structure of warm ups before performance. The current view on the application of static stretching and its effects on the musculoskeletal system is more critical with the consequence of the reduction of its use, above all in the initial part of the training units. Studies and research projects on this topic however often have different conclusions and obscurities in the theoretical plane and can be the basis for non-systematic approaches in practical applications. **Objective:** The aim of this study is to compare the views of experts on the function of static stretching and to describe its effects on the musculoskeletal system. **Methods:** Source of information for this study is a literature search especially from foreign posts on the topic of stretching and its effects on the musculoskeletal system. Given the breadth of issues which were profiled and processed, most discussed subtopics. Differences in opinions of experts on the function of stretching mainly concern the questions use of static stretching as in part of warm up, function of static stretching in the prevention of injury and its effect on muscle power. Preference for static or dynamic forms of stretching in relation to specific purposes permeates all sub-themes. **Conclusions:** The professional community is united in the view on the positive effects of static stretching at the end of a training session, but not in the opinion on its function in the warm-up before exercise. Functions of static stretching in terms of injury prevention has not been proven, nor disproved. More and more experts are inclined to think that this function is performed particularly warm part of the warm-up. The professional community recognizes the negative effect of static stretching on speed-power performance, but did not find enough evidence for a general

exclusion from warming up. The inclusion of static stretching to warm up and the way of its implementation depends on the nature of the load and for some sports remains an integral part of this process. The current trend is toward the transition to active forms of warming up.

Keywords: static stretching, dynamic stretching, muscle stiffness, muscle performance