ŠPORTOVÁ TECHNIKA A JEJ HODNOTENIE PROSTREDNÍCTVOM BIOMECHANICKÝCH METÓD VO VYBRANÝCH ŠPORTOCH A POHYBOVÝCH AKTIVITÁCH

SPORT TECHNIQUE AND ITS EVALUATION BY USING BIOMECHANICAL METHODS IN CHOSEN SPORTS AND PHYSICAL ACTIVITIES

V. Psalman

Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra tělesné výchovy a sportu

ABSTRACT

Author takes care about sport technique in tennis (serve), handball (throw) and about movement technique in human walking. Very precise results were obtained by using three dimensional kinematic analysis and software Simi Motion. The purpose of this study was to bring more information about certain sport techniques fulfilled with concrete spatial, time and velocity characteristics. Chosen microphases of movement were analysed, explained and graphical outputs are a proof of this. Based on this, different types of models can be created and it should be helpful for sport theory and praxis.

Keywords: sport technique; three dimensional biomechanical analysis; tennis, handball; walking

SÚHRN

Autor sa zaoberá športovou technikou na príklade športov tenis a analyzuje tenisové podanie a hádzaná, kde je predmetom skúmania hod vo výskoku. Okrem športov je analyzovaná aj chôdza ženy a muža. Získali sa veľmi presné výsledky a použitá bola trojrozmerná kinematická analýza a softvér Simi Motion. Cieľom bolo priniesť hlbšie informácie o športovej technike na základe priestorových, časových a rýchlostných charakteristík. Boli analyzované a vysvetlené vybrané mikrofázy pohybu a predložené grafické výstupy. Využitím získaných poznatkov je možné vytvárať modely športovej techniky, ktoré sú aplikovateľné v športovej teórii a praxi.

Kľúčové slová: športová technika; trojrozmerná biomechanická analýza; tenis, hádzaná; chôdza

Úvod

Športová technika je účelný spôsob riešenia pohybovej úlohy, ktorý je v súlade s možnosťami jedinca, s biomechanickými zákonitostami pohybu a uskutočňuje sa na základe neurofyziológických mechanizmov riadenia pohybu. Využívajú sa pri tom aj ďalšie predpoklady športovca - kondičné, koordináčne, somatické a psychické.

Súčasná doba nám už oveľa častejšie umožňuje vykonávať 3D kinematickú analýzu, pomocou ktorej získaváme aj simuláciu pohybu v trojdimenzionálnom prostredí. 3D kinematickou analýzou tenisových úderov sa zaoberali Psalman (2007), Ivančević (2008), Durovič (2008), Subijana a Navarro (2009). Sledovaním, analyzovaním a popisom športovej techniky v jej rôznych prejavoch sa zaoberalo veľké množstvo autorov, z ktorých vyberieme športy hádzaná (Psalman, Zvonar, Paldanová, 2009), zjazdové lyžovanie (Štumbauer & Vobr, 2005, 2007), windsurfing (Štumbauer, Vobr,

2005), snowboarding (Vobr, 2007), tenis (Vaverka & Černošek, 2013) a ľadový hokej (Vobr, 2003). Analyzujú športovej a pohybovej techniky sa snažíme vytvárať optimálne modely tenisového podania, hádzanárskeho hodu a zdravej chôdze.

Technika športového pohybu môže byť z biomechanického hľadiska charakterizovaná ako pohyb hmotného systému (telo športovca ako celok) alebo ako pohyb jednotlivých častí segmentov. V našom výskume sme sa zamerali nielen na celkový pohyb, ale aj na pohyb jednotlivých segmentov v pohybovom prejave.

Cieľ

Cieľom práce je prispieť aktuálnymi špecifickými poznatkami k hlbšiemu skúmaniu a objasňovaniu realizácie konkrétnych mikrofáz športového pohybu v tenise a hádzanej a identifikovať silné a slabé stránky športovca. V prípade pohybovej aktivity – chôdze, identifikovať normálnu

zdravú chôdzu a chôdzu, ktorá tieto parametre nespĺňa.

Metodika

Charakteristika súboru

V športe tenis bol vybraný jeden z najlepších tenistov súčasnosti na Slovensku L.L. Testovaný bol vo veku 23 rokov a vtedy sa nachádzal na 112. mieste rebríčka ATP. V posledných troch rokoch patrí do prvej stovky svetového rebríčka.

V hádzanej sledovaný súbor tvorila skupina profesionálnych hráčov klubu HK Trnava 47 (n=5, priemerný vek: 27.2 ± 2.5 rokov, váha: 94.9 ± 8.2 kg, výška: 189.2 ± 8.2 cm, odtrénované roky: 15.6 ± 1.9 rokov) a hráčok ŠK Modranka (n=5, priemerný vek: 20.4 ± 4.5 rokov, hmotnosť: 59.0 ± 7.5 kg, výška 169 ± 6.7 cm, odtrénované roky: 13.2 ± 5.8 rokov).

Kvalitu normálnej chôdze sme zisťovali u žien a mužov. Z dôvodu limitácie rozsahu príspevku, sme pre analýzu a demonštráciu kvality chôdze vybrali chodecký cyklus nešportujúcej ženy vo veku 47 rokov so sedavým zamestnaním.

Stanovenie výskumnej situácie a metódy získavania údajov

Údaje sme získavali priamym meraním, v tenise to bolo prvé podanie, ktoré sa vykonávalo v štandardizovaných podmienkach, t.j. v presne takých, aké sú počas tenisových zápasov. To znamenalo, že každý pokus bol vykonaný maximálnym úsilím. Spolu sme nasnímali 10 úspešných podaní z oboch strán tenisového dvorca, z ktorých bolo pre spracovanie a následnú analýzu vybraných päť z každej strany dvorca. V hádzanej bol súbor inštruovaný strieľať s čo najväčšou razanciou streľby na cieľ (50 x 50 cm) umiestnený 9 metrov od miesta streľby. Chôdza sa uskutočnila v laboratórnych podmienkach na chodeckom koberci optimálnou rýchlosťou, ktorá charakterizovala normálnu chôdzu. Je zrejmé, že pred každým testovaním bol čas na rozhriatie sa, rozcvičenie a vyskúšanie si troch zácvičných pokusov.

Výskum na vybraných osobách mal exaktný charakter a bol realizovaný a testovanie prebiehalo v rovnakom čase, na rovnakom mieste, za presne stanovených rovnakých podmienok merania a s dôrazom, aby sa každý proband snažil dosiahnuť svoj najlepší výkon. Merania realizovali skúsení a odborne zaškolení examinátori.

Merané boli nasledovné miesta ľudského tela: zápästie – ľavá a pravá končatina, lakeť – ľavá a pravá končatina, rameno – ľavá a pravá končatina, bok – ľavá a pravá strana panvovej kosti, koleno – ľavá a pravá končatina, členok – ľavá a pravá končatina. Z jednotlivých segmentov tela je vypočítateľný tzv. Gubitzov model ťažiska. Grafickým spojením oboch ramien získavame os ramien a spojením bokov zase os bokov. Tie používame k posudzovaniu rotácie tela okolo zvislej osi. V te-

nise pri údere hrá podstatnú úlohu aj tenisová raketa a preto sme ju brali tiež do úvahy a meraná bola rúčka rakety – dolná časť a hlava rakety – horná časť.

Pre získavanie údajov sme použili špecifickú biomechanickú metódu, kinematickú analýzu v priestore s použitím softvéru SIMI Motion. Priestor bol vytvorený prostredníctvom záznamu dvoch vysokorýchlostných kamier snímajúcich 500 snímkov za sekundu, ktoré synchrónne zaznamenávali z dvoch rôznych smerov. Tým bol vytvorený trojdimenzionálny priestor, ktorý je reálny pre športový pohyb (obr.). Získané kinematické ukazovatele nám poskytujú vysokú presnosť vo všetkých troch smeroch (3D priestor) a pre všetky vybrané segmenty tela.

Obrázok 1a, b. Pohľady zosynchronizovaných dvoch kamier a nakalibrovaný priestor.

Figure 1a, b. Views from two synchronized cameras and calibrated 3D space.

Tak, ako je to pri reálnom vykonávaní športovej a pohybovej aktivity, pohyby sú možné v troch smeroch:

- v smere osi x – pred – zadný (horizontálny) pohyb;

- v smere osí y – bočný (laterálny) pohyb;
- v smere osí z – zvislý (vertikálny) pohyb.

Monitorovanie všetkých kinematických ukazovateľov je možné v jednotlivých smeroch osí x, y, z a tiež aj v absolútnych hodnotách.

Metódy spracovania a vyhodnocovania údajov

Po nasnímaní reálnej situácie dvomi synchrónnymi kamerami získavame obraz, ktorý ďalej spracovávame pomocou systému SIMI Motion za účelom vytvorenia kinematickej 3D analýzy. Analýza obrazu má jednu veľkú výhodu, ktorou je to, že kvantitatívne hodnoty získavame bez toho, aby to malo nejaký dopad na testovanú osobu. V tejto fáze už ďalšie konkrétne merania a vyhodnocovania realizujeme na nasnímanom obraze a nie na športovcovi samotnom.

Časové údaje nám poskytujú informáciu o tom, kedy bol záber vykonaný. Takto získavame absolútnu alebo relatívnu hodnotu. Vo väčšine prípadov spracovania pomocou metódy kinematickej analýzy je dôležitejšia relatívna časová hodnota, ktorá bola braná do úvahy aj nami. Po nahraní pohybu, v našom prípade tenisového podania, nasledovala analýza jednotlivých záberov. Vzhľadom na veľké množstvo záberov a trvanie podania je jasné, že ide o obrovský počet údajov, z ktorých pri spracovávaní a vyhodnocovaní vyberáme len tie najpodstatnejšie. Pri analyzovaní sme určili segmenty tela alebo body, ktoré sú určitým spôsobom dôležité pre vykonanie pohybu. Použitými bodmi na tele sú priesečníky kĺbových osí alebo ich stredy.

Zobrazenie modelovaných údajov na ľubovoľnej osi x, y, z trojrozmerného priestoru, spolu so sledovaním kinematických charakteristík – dráhy (vzdialenosti), uhly, rýchlosti, zrýchlenia, spolu so sledovaním vlastného vykonania športového výkonu dáva do rúk trénera veľmi účinný nástroj na posudzovanie individuálnej technickej vyspelosti športovca s možnosťou odhalenia slabých a silných stránok. Nasledujúci rozbor môže poukázať na kľúčové faktory, ktoré ovplyvňujú športový výkon.

Pri interpretácii výsledkov výskumného sledovania používame aj metódy logickej analýzy a syntézy s využitím induktívnych a deduktívnych postupov. Na ich základe je možné dospieť k overeniu poznatkov a formulácii záverov, ktoré by mali byť prínosom pre rozvoj teórie a praxe.

Výsledkami analýzy sú:

- 3D model pohybu s možnosťou sledovania z akejkoľvek perspektívy;
- individuálna biomechanická charakteristika športovca;
- možnosť porovnávania niekoľkých športovcov vzájomne, odhaľovanie ich silných a slabých stránok;
- možnosť porovnávania výkonnostných parametrov, napríklad pred zranením a po zranení, vo

vrcholnej športovej forme a vo výkonnostnom útlme;

- tvorba kinogramu.

Výsledky a diskusia

Tenisové podanie

Po uskutočnení všetkých sledovaní a následnom vyhodnotení sme zistili presné kinematické ukazovatele, ktoré prispievajú k odhaleniu optimálneho kinematického reťazca pohybu pri tenisovom podaní. Tento poznatok by mal mať pozitívny vplyv na zvýšenie kvality podania v tenise a tiež aj na zvýšenie tenisovej výkonnosti. Zo všetkých analyzovaných pokusov sme zistili veľkú podobnosť nameraných hodnôt vybraných kinematických ukazovateľov, čo potvrdzuje vysokú výkonnosť a stabilizovanú športovú techniku sledovaného reprezentanta SR. Optimálne vykonanie kinematického reťazca pri tenisovom podaní je veľmi tesne späté s jeho kvalitou, a tým aj so športovou výkonnosťou.

Časové kinematické ukazovatele

Tenisové podanie sa vykonáva v priestore, ale so zreteľom na čas. Ten patrí medzi podstatné kinematické charakteristiky pohybu a je zrejmé, že všetky ostatné ukazovatele závisia práve od času. Okrem sledovania pohybu počas podania v jednotlivých vybraných dôležitých **momentoch** (časový okamžik, ktorý časovo presne popisuje vybranú mikrofázu) je zaujímavé pre vyhodnocovanie kvality podania a tiež dôležité poznanie ďalšej charakteristiky, ktorou je **trvanie** (celková časová dĺžka podania, časová dĺžka – medzi jednotlivými mikrofázami podania). Ide o časovú diferenciu (rozdiel časových momentov) medzi začiatkom a koncom sledovanej činnosti. Pripravnú fázu podania, v ktorej tenista zaujíma svoje zaužívané postavenie za základnou čiarou, následné sústredenie sa na vlastné podanie, opakované rituálne hádzanie loptičky o zem a všetky prípravné pohyby rakety alebo tela tenistu až do momentu začiatku vyhodnenia loptičky považujeme za menej dôležité ako nasledujúce okamihy. V nich sa odohráva hlavná fáza podania, od ktorej najviac závisí jeho kvalita.

Za prvý podstatný moment sme preto určili moment, v ktorom tenista vyhadzuje loptičku smerom nahor. Táto mikrofáza je časovo presne definovaná na moment, kedy loptička opustila ruku tenistu a začína svoju letovú fázu. V našom prípade sme tento časový okamžik označili T_0 a relatívny čas bol stanovený na 0,000 s (obr. 2). Loptička je síce vyhodnená ľavou – nedominantnou hornou končatinou, ale nesmieme zabúdať ani na činnosť pravej – dominantnej (hrajúcej) hornej končatiny s raketou. Tá je v tomto momente po predchádzajúcom pomalom pohybe dokonca v spomaľujúcom režime (záporné zrýchlenie $-0,164 \text{ m/s}^2$ je vlastne spomalenie hlavy rakety) a má za úlohu

kompenzačný pohyb, ktorý napomáha k čo najpresnejšiemu vyhodneniu loptičky nad hlavu.

Druhá dôležitá mikrofáza pri tenisovom podaní je v momente odrazu nôh od zeme, čím dochádza k začiatku letovej fázy (obr. 3). Od činnosti počas

Obrázok 2. Časový okamžik vypustenia loptičky z ľavej ruky ($T_1 = 0,00s$).

Figure 2. Moment of loss of contact the ball in left hand ($T_1 = 0,00s$).

Obrázok 3. Časový okamžik odrazu nôh od zeme ($T_2 = 0,900 s$).

Figure 3. Moment of take off from the ground ($T_2 = 0,900 s$).

Obrázok 4. Časový okamžik maximálneho zrýchlenia hlavy rakety ($T_3 = 0,920 s$).

Figure 4. Moment of maximal speed of upper racket ($T_3 = 0,920 s$).

letovej fázy závisí kvalita podania najviac. V našom prípade ide o mikrofázu T_2 a relatívny čas 0,900 s. Zaznamenané dosť vysoké zrýchlenie hlavy rakety ($101,092 \text{ m/s}^2$) poukazuje na aktívnu prácu najmä chrbtového svalstva a pravej hornej končatiny. Letová fáza má dôležitejšiu prvú časť od svojho začiatku až po kontakt rakety s loptičkou a jej trvanie je 0,12 s.

Obrázok 5. Časový okamžik maximálnej rýchlosti hlavy rakety ($T_4 = 0,980 \text{ s}$).

Figure 5 Moment of maximal speed of upper racket ($T_4 = 0,980 \text{ s}$).

Tretím najvýznamnejším časovým momentom je čas, kedy sa dosiahlo maximálne zrýchlenie hlavy rakety, ktoré má vplyv na rýchlosť hlavy rakety a samozrejme aj na následnú rýchlosť letu loptičky ($T_3 = 0,92 \text{ s}$). Maximálne zrýchlenie nadobudlo hodnotu $117,740 \text{ m/s}^2$ (obr. 4).

Obrázok 6. Časový okamžik kontaktu rakety a loptičkou ($T_5 = 1,020 \text{ s}$).

Figure 6. Moment of contact between racket and ball ($T_5 = 1,020 \text{ s}$).

Vo štvrtej vybranej mikrofáze bola vybraná pozícia hráča v čase dosiahnutia maximálnej rýchlosti

hlavy rakety ($v_{\max} = 17,674 \text{ m/s}$). Toto sa uskutočňuje v čase, keď zrýchlenie hlavy rakety je ešte stále kladné a má hodnotu $33,193 \text{ m/s}^2$, napriek tomu, že maximálne zrýchlenie nastalo pred 0,060 s (obr. 5). Tento zmenšený prírastok v zrýchlení hlavy rakety tesne pred úderom je spôsobený mierením a reguláciou zásahu do loptičky. Tiež na základe iných výskumov (Psalman, Zháněl, Duvač

& Zvonař 2012) sa zistilo, že v čase 0,060 s pred úderom je hráč schopný uskutočniť posledné korekcie, tak aby úder bol optimálny.

Posledným vybraným, a teda piatym časovým momentom v poradí je snáď najvýznamnejšia mikrofáza kontaktu rakety s loptičkou. Ten v našom prípade nastal v čase 1,020 s a dokumentuje dobré

načasovanie sa na úder (timing). V prípade spomalenia hlavy rakety (záporné hodnoty zrýchlenia) v čase tesne pred úderom alebo v momente úderu, biomechanici hodnotiaci športovú techniku ju považujú za nevydarenú (obr. 6). Pochopiteľne uvažujeme o tenistovi s vysokou výkonnosťou, akým náš proband rozhodne je (v súčasnosti ide dlhodobo o hráča prvej svetovej stovky rebríčka ATP).

Ďalej pre odborné posudzovanie kvality podania v tenise je významné sledovať segmenty hrajúcej hornej končatiny s raketou a do úvahy berieme hlavne ako sa v danom časovom momente prejavovali (akú mali okamžitú polohu, rýchlosť a zrýchlenie). Tiež doplňujúce informácie poskytovali údaje podstatné pre optimálny kinematický reťazec, medzi ktoré radíme maximálne rýchlosti a zrýchlenie jednotlivých segmentov v daných časových momentoch. Ich vzájomné zosúladenie a postupnosť smerom k distálnemu koncu potvrdzujú optimálne vykonanie kinematického reťazca. V opačnom prípade sú rozpoznateľné chyby v technickej realizácii podania.

Pozície tela tenistu a dráha ťažiska v priebehu tenisového podania – demonštrované pomocou priestorových kinematických ukazovateľov

Pozície tela je zaujímavé sledovať aj počas trvania celého podania, ale pre naše účely bola postačujúca redukcia na štyri vybrané mikrofázy: moment tesne po vyhodení loptičky ľavou rukou, moment najväčšieho zníženia centrálneho ťažiska tela, moment kontaktu tenisovej rakety s loptičkou a moment pri dokončení úderu. Moment tesne po vyhodení loptičky sme vybrali z dôvodu, že jasne vidieť pozície oboch osí, teda aj osi ramien – žltá spojnic medzi ľavým a pravým ramenom a osi bokov – modrá spojnic medzi oboma bokmi. Tieto spojnice boli graficky vytvorené za účelom pozorovania rotácie tela. Vieme, že v prípravnom postavení telo tenistu ešte nie je vyrotované a preto sú obe osi (os ramien a os bokov) rovnobežné. Tesne po vyhodení loptičky ľavou rukou dochádza k miernej rotácii tela smerom k smeru pohybu, teda smerom vľavo, pričom vidíme väčšiu rotáciu v oblasti ramien (obr. 7). Naopak, rotácia v oblasti bokov nie je taká výrazná z dôvodu, lebo ide miesto v tesnej blízkosti vypočítaného centrálneho ťažiska tela, ktoré by malo byť pokiaľ je to len trochu možné v stabilnej pozícii. Vytvorením grafických osí je ďalej možné sledovať aj vychýlenie v jednotlivých smeroch priestoru, napríklad laterálne alebo predozadné vychýlenie ramien a bokov.

V čase, keď sa tenisová loptička nachádza okolo kulminačného bodu, tenista sa dostáva pokrčením dolných končatín do svojej najnižšej polohy a ťažisko dosahuje najnižší bod v rámci celého podania. Uskutočňuje sa to preto, aby v najbližších chvíľach tenista dynamickým odrazom dolných končatín zvýšil svoju kinetickú energiu a dostal sa

do bezoporovej fázy a mohol sa sústrediť na správne načasovanie úderu. Postupný kombinovaný (posuvný a rotačný) pohyb názorne ilustrujú osi ramien a bokov. Distálnejšie sú ramená a preto os ramien ukazuje väčšiu rotáciu vrchnejšej časti trupu v porovnaní s menšou rotáciou bokov (obr. 8).

Obrázok 7. Pozícia tela tenistu tesne po vyhodení tenisovej loptičky z ruky – porovnanie osí ramien a bokov.

Figure 7. Body position just after the released ball from hand – comparison of shoulders and hips.

Obrázok 8. Pozícia tela tenistu v momente najväčšieho zníženia ťažiska – porovnanie osí ramien a osí bokov.

Figure 8. Body position in moment of the lowest center of gravity – comparison shoulders and hips.

V momente vlastného úderu – kontakt rakety s loptičkou je vidieť celý posun oboch osí v súlade s narastajúcim časom a trajektória centrálneho ťažiska, vyjadrená zeleným krúžkom, ukazuje zaujímavý tvar písmena V. To začína spočiatku viac vzadu (pravý horný koniec), postupne sa znižuje

k spodnému vrcholu až nakoniec po vystretí celého tela trajektória dokončí ľavú šikmú časť písmena V (obr. 9).

Obrázok 9. Pozícia tela tenistu v momente úderu s vyznačením pohybu centrálneho ťažiska.
Figure 9. Body position in hitting moment with indication of COG movement.

Ako vidieť na obrázku 10, ťažisko tela športovca prekonalo od začiatku nadhodu loptičky (moment opustenia ruky) až po kontakt rakety s loptičkou dráhu (vzdialenosť) takmer 70 centimetrov (0,669 m).

Obrázok 10. Dráha ťažiska hráča v priebehu podania v tenise.
Figure 10. Trajectory of COG during serve in tennis.

Obrázok 11 ukazuje aktuálne miesto centrálneho ťažiska (zelený krúžok) vo vybranej mikrofáze tesne po odohraní loptičky. Úplne jasne a názorným spôsobom je ilustrovaná trajektória pohybu ťažiska prostredníctvom jednotlivými fázami vy-

kresleného červeného písmena V. To sa formovalo sprava doľava, zhora nadol a opäť hore, teda presne tak, ako by mal vyzerat' postupný pohyb celého tela. Ten má postupovať zo zadu smerom vpred v súlade so spomínanými vertikálnymi zmenami (hore-dole-hore).

Obrázok 11. Pohyb ťažiska počas tenisového podania (krivka tvaru V) – mikrofáza tesne po odohraní
Figure 11. Movement of COG during tennis serve (V-curve) – microphase immediately after hitting

Dráha ramien horných končatín

Pri sledovanom tenistovi je vidieť, že dráhy jeho ramien sú spoiatku súbežné, s výškovým rozdielom od 6 do 10 cm. Najskôr je vyššie ľavé rameno, ktoré malo prvotnú aktivitu v rámci celej hornej končatiny a spolupodielalo sa na presnom vyhodení loptičky. Asi v polovici letovej fáze dochádza k mikrofáze preklopenia ramien. Toto sa deje presne v okamžiku 0,860 s od momentu vyhodenia loptičky a výškový rozdiel medzi obidvomi ramenami je až 30 cm, čo dokumentuje maximálne vytiahnutie hrajúcej hornej končatiny aj s raketou vertikálnym smerom za účelom dosiahnutia najvyššieho miesta zásahu.

Dráha pravej (hrajúcej) hornej končatiny pri tenisovom podaní

Analýza grafického výstupu pohybu hrajúcej hornej končatiny aj s raketou ukázala, že čím je segment vzdialenejší od stredu tela, tým vykonáva väčšiu dráhu a jeho nepresnosť pri pohybe máva spravidla väčšie negatívne následky. V našom prípade sme od vyhodenia loptičky zaznamenali prekonanú dráhu pravého ramena 1,070 m, pravého lakťa 1,867 m, pravého zápästia 1,970 m, hrdla rakety 2,236 m a hlavy rakety až 6,026 m. To len poukazuje na technickú obťažnosť podania v tenise, keď počas viac ako 6 metrovej dráhy hlavy

rakety by nemalo dôjsť k nesprávnym, zbytočným a nekoordinovaným pohybom.

Rýchlosti centrálného ťažiska tela pri tenisovom podaní

Rýchlosti jednotlivých podstatných segmentov tela športovca sa počas podania neustále menia. Centrálné ťažisko tela začína s rýchlosťou 0,35 m/s a po vypustení loptičky z dlane ruky dochádza k jeho spomaleniu, hráč pravdepodobne sleduje kvalitu svojho vyhodnenia loptičky a jej následný pohyb. Spomalenie ide v niektorých prípadoch až na hodnotu 0,2 m/s. Potom už pohyb celého tela a teda aj ťažiska sa zrýchľuje, až dosiahne maximálnu hodnotu 1,636 m/s v časovom okamžiku 0,860 s. Odvtedy dochádza k postupnému poklesu rýchlosti až do momentu úderu (obr. 12).

Obrázok 12. Rýchlosť ťažiska hráča počas podania s poukázaním na jeho maximálnu rýchlosť.

Figure 12. Velocity of COG during serve – maximal value is indicated.

Rýchlosti segmentov hrajúcej hornej končatiny s raketou

Sledovaním rýchlosti jednotlivých segmentov hrajúcej hornej končatiny spolu s raketou sme zistili v časovom okamžiku 0,860 s chybu v realizácii kinematického reťazca. Práve v tomto momente je hráč ešte schopný korekcie predošlej menšej nepresnosti pri vyhodnení loptičky. Korekcia je v súlade s výsledným správnym načasovaním úderu a so správnym miestom kontaktu rakety s loptičkou. Táto korekčná úloha bola síce zvládnutá úspešne ale dočasné zníženie rýchlosti hlavy rakety v tomto momente ide aj na úkor zníženia celkovej rýchlosti úderu. Navyše objavila sa tu jedna podstatná pohybová anomália. Tou vyššia rýchlosť pravého lakťa (až 7,022 m/s) ako je rýchlosť hlavy rakety (len 6,747). Takémuto prehodeniu kinematického reťazca by sa malo systematickým tréningom vyhnúť, ide totiž o nadmernú rýchlostnú aktivitu

v lakťovom kĺbe a o zámerné zadržanie rýchlosti hlavy rakety.

Nakoniec došlo k úspešnému odstráneniu menšej chyby vďaka presnej korekcii pohybu v správnom čase. Maximálna hodnota rýchlosti hlavy rakety je 15,252 m/s a potvrdzuje, že kinematický reťazec bol dokončený technicky korektne a podanie vyzerá veľmi dobre. Tiež ukázkovo a primerane proporčne sú vykreslené krivky vybraných segmentov hrajúcej ruky v momente úderu a to v súlade so zvyšujúcou sa rýchlosťou od stredových častí až k tým najvzdialenejším. Jedinou chybičkou je dosiahnutie nižšej rýchlosti hlavy rakety v momente úderu, pretože sú evidentné rezervy a možnosti jej zvýšenia za predpokladu minimalizovania korekčných chýb v predošlých fázach pohybu.

Optimalizácia kinematického reťazca

Optimalizácia kinematického reťazca pri tenisovom podaní je charakterizovaná čo najväčšou efektívnosťou pri čo najnižšej námahe. Vzniká na základe synchronizovaného pohybu jednotlivých segmentov tela v smere od vzdialenejších častí k častiam bližším. Presnejšie povedané, pohyb pri streľbe začína prácou nôh, následne trupu a končí hornými končatinami. Z nich dominantná je tá končatina, ktorou hráč hádže, pričom musí ísť o optimálnu postupnosť činnosti, najskôr v ramene, potom v lakti, v zápästí nakoniec v rakete. Všetky hodnoty hrajúcej končatiny potvrdzujú teóriu o vzrastajúcej rýchlosti a zrýchlení počas podania, súčasne je ale užitočná a nezanedbateľná práca nedominantnej končatiny, ktorá udržiava telo v optimálnej a rovnovážne stabilizovanej pozícii. Správne vykonaný kinematický reťazec pri tenisovom podaní je spojený nielen so kvalitnou celkovou rovnováhou tela, ale aj s rovnovážnym vyrovnaním medzi hornou a spodnou polovicou. Po odraze dolných končatín je dôležitá z hľadiska udržiavania celkovej rovnováhy a stability tela počas letovej fázy a v momente úderu rakety do loptičky.

Pri tenisovom podaní síce nie je hlavným cieľom dosiahnutie maximálnej rýchlosti letu loptičky a tým znepriíjenenie až znemožnenie úspešného vrátenia súperom, ale oveľa podstatnejšie je spojenie spojenie primeranej presnosti s minimálnym časom letu loptičky, čím má protihráč veľmi málo času na prípravu svojho úderu. Je zrejmé, že ak sa snažíme skracovať čas letu loptičky, nutne musíme zdokonaľiť na maximálnu možnú mieru dôležitý priestorovo – časový kinematický ukazovateľ – rýchlosť segmentov hrajúcej končatiny. Z nich je najdominantnejšia hlava rakety, ktorá v čase úderu kontaktuje tenisovú loptičku a udeľuje jej rýchlosť. Z vyššie uvedeného vyplýva, že vzťah medzi rýchlosťou loptičky a presnosťou podania je najdôležitejšia a vzniká ako správne tvorený kompromis. Ten závisí od mnohých faktorov, ale za základné sú považované tri

parametre: rýchlosť v čase úderu, uhol odrazu loptičky od rakety a výška, v momente odrazu tenisovej loptičky. Práve tieto základné parametre musia byť vzájomne zladené tak, aby čas letu bol minimalizovaný s ohľadom na dostatočnú presnosť. Popri kvantitatívnych znakoch optimálne vykonaný kinematický reťazec si vyžaduje aj vysokú úroveň kvalitatívnych znakov pohybu. Celý pohyb musí byť koordinovaný a vykonávaný dostatočne presne. Pre dosiahnutie požadovanej presnosti je nevyhnutná kinematická a dynamická stabilita a optimálne postupné zapojenie jednotlivých segmentov kinematického reťazca. Všetky fázy kinematického reťazca musia byť zosúladené a primerane citlivé konanie všetkých pohybov poskytuje možnosť vykonania potrebných korekcií v priebehu podania.

Obrázky 13a-x. Model optimálneho podania (paličkový diagram, časový rozstup obrázkov je 0,02 s).

Figures 13a-x. Model of optimal tennis serve (stick diagram, time difference each 0,02 s).

Pri správne vykonanom kinematickom reťazci sa majú postupne zapájať segmenty od stredu tela až po distálne časti, ktorým je raketa držaná hrajúcou rukou. Pretože ruka s raketou funguje ako voľný koniec kinematického reťazca, je možné, že vďaka sile zotrvačnosti sa pohyb v predchádzajúcich segmentoch spomaľuje a moment hybnosti sa posúva kinematickým reťazcom ďalej do nasledného segmentu. Zistené dôkazy podporujú tieto všeobecne platné tvrdenia. Animácia celého podania – obrázky po 0,02 sekunde (obr.13a-x).

Následne sa týmto snažíme prispieť k súčasným poznatkom a ku skvalitneniu techniky podania v tenise.

Obrázok 14a,b. Dráha bokov a ramien hráča (14a) a hráčky (14b) pri strelbe vo výskoku v hádzanej.

Figure 14a,b. Trajectories of shoulders and hips at male player (14a) and female player (14b) during the jump shot in handball.

Hádzanársky hod z výskoku

Z porovnania z dvoch modelov vykonania streľby vo výskoku vyplýva, že technika mužov a žien sa radikálne neodlišuje, lebo má rovnaké princípy. Rozdiely sú podľa očakávania len v absolútnych hodnotách kinematických charakteristík, kde sa prejavujú somatické a kondičné výhody mužov. Ako jediný rozdiel sa javí moment vypúšťania lopty, lebo zatiaľ čo u žien bola lopta vypustená v okamihu, keď telo bolo v najvyššom bode letovej fázy, muži si mohli vďaka dosiahnutej výške dovoliť vypúšťať loptu až v zostupnej fáze letu.

Vzhľadom k tomu, že sme porovnávali dve modelové ukážky a v prípadoch oboch meraní boli len tri sledované pokusy, nedá sa tento rozdiel zo-všeobecniť. Navyše je empiricky známe, že pri hre hráči menia okamžik vypúšťania lopty z ruky podľa okamžitej hernej situácie.

Obrázok 15a,b. Rýchlosť zápästia, lakt'a a ramena streleckej hornej končatiny hráča (15a) a hráčky (15b) pri strelbe vo výskoku v hádzanej.
Figure 15a,b. Velocities of wrist, elbow and shoulder of shooting upper extremity at male player (15a) and female player (15b) during the jump shot in handball.

Obrázok 16. Trajektória bokov pri chôdzi ženy (bočný pohľad).
Figure 16. Trajectory of hips axis (side view).

Napriek tomu, že sledovaní hádzanári a hádzanárky tvorili z hľadiska rýchlosti vystrelenej lopty pomerne homogénne skupiny, našli sme u niektorých z nich porušenie kontinuity kinematického reťazca. V športovej praxi to znamená, že práve títo

športovci by pri správnom vykonaní mohli dosahovať ešte lepšie športové výkony.

Chôdza

Pri trojrozmernej kinematickej analýze chôdze boli zistené pohlavné rozdiely. Chôdza žien sa vyznačuje menšou šírkou kroku a väčším pohybom bokov. Naopak, muži sú aktívnejší v oblasti ramien. Všetky výstupy sú v numerickej aj grafickej forme (obr. 16).

Obrázok 17a,b. Laterálne (17a vľavo) a vertikálne (17b vpravo) pohyby ťažiska pri chôdzi ženy.

Figure 17a,b. Lateral (left) and vertical (right) movements of COG during woman walking.

Pohyb bokov má osobné rozpätie v rozsahu 77 - 91 stupňov pri pohľade spredu a plus 12 až -12 stupňov pri bočnom pohľade. Laterálny pohyb ťažiska tela je vykonávaný od 27,7 do 35 cm (obr.17a), čo predstavuje rozdiel viac ako 8 cm. Za normálny rozsah sú ale považované hodnoty medzi 31 a 34 cm. Vyšší rozdiel potvrdzuje, že ženská chôdza je viac aktívna v oblasti bokov, čo sice zvyšuje atraktivitu chôdze, ale na druhej strane vidíme malé stranové nevyrovnanosti.

Pohyb ťažiska vo vertikálnom smere osciluje od 88,8 do 92,0 cm, s minimálnou hodnotou 88,3 cm, ktorá vyjadruje najnižšie postavenie tela pri chôdzi. Maximum má hodnotu 92,5 cm a je to momente najväčšieho vystretia tela (obr.17b). Pridané rozdiely v hodnote 0,5 cm predstavujú ešte viac alebo menej vystretý postoj pri chôdzi, ktorý závisí najmä od stability v jednotlivých mikrofázach pohybu.

Obrázok 18. Rozdielny ohyb ľavého a pravého kolena pri chôdzi ženy.

Figure 18. Different knee flexion - woman and her maximal flexion of left and right knee.

Obrázok 18 ukazuje významný rozdiel v maximálnom ohnutí oboch kolien, ktorý dosiahol až 26 stupňov. Rozdiel môže byť zapríčinený jednou z možností: a) svalovou dysbalanciou medzi quadriceps a biceps femoris b) skrátenými svalmi dolnej končatiny.

Obrázok 19. Porovnanie maximálnych rýchlostí oboch členkov ženy.

Figure 19. Comparison of maximal velocities in both ankles (woman).

Maximálna rýchlosť pravého členka v čase 1,409 s, ktorého grafické vyjadrenie je vo forme plochého vrcholu dokazuje schopnosť udržať maximálnu rýchlosť určitý čas. Naproti tomu pri pohľade na aktivitu ľavého členka je vidieť ostrý vrchol, čo znamená neschopnosť udržania maximálnej rýchlosti. Tieto výsledky ukazujú, že pri činnosti oboch členkov boli sice dosiahnuté podobné hodnoty, ale trvanie maximálnych rýchlostí je rozdielne. Príčinami zisteného rozdielu môžu byť: odlišná dynamická rovnováha, nie správna poloha tela pri chôdzi alebo bývalé zranenie.

Fáza, kedy flexia prechádza do extenzie ľavého kolena (hranica prechodu medzi skorou a neskorou švihovou fázou) nastáva presne v čase 1,199 s choďeckého cyklu (obr.20a,b). V tomto čase je ľavý členok viac vpredu pri porovnaní s členkom pravým. Dĺžkový rozdiel 27,8 cm dokazuje veľkú nestabilitu v priebehu švihovej fázy (obr.20b). Teda testovaná žena nie je schopná precítiť pohyb počas švihovej fázy a nerozozná hranicu medzi skorým a neskorým švihom.

Obrázok 20a,b. Fázy flexie a extenzie kolien (22a) a pohybu členkov smerom dopredu (22b) pri ženskej chôdzi.

Figure 20a,b. Phases of flexion and extension of knees (22a) and movement of ankles forward (22b) in woman walking.

Záver

Kvalita športovej techniky (podania v tenise, hodu v hádzanej, chôdze normálnou rýchlosťou) je podmienená optimálnou synchronizáciou jednotlivých segmentov tela zapojených do kinematického reťazca. Jeho funkcia je založená na prenose energie od najbližších segmentov tela k tým najvzdialenejším, čo je potrebné pre odovzdanie pohybovej energie z hlavných segmentov tela na tenisovú loptičku alebo hádzanársku loptu.

Výsledky v hádzanej poukázali na potrebu osvojiť si veľký rozsah streleckých techník tak, aby hráč v prípade potreby mohol použiť ten spôsob, pri ktorom je predpoklad najväčšieho úspechu, ale iba tak, aby nedochádzalo k diskontinuite kinematického reťazca. Porušenie optimality reťazca by mohlo viesť k zníženiu efektívnosti streľby. Získané výsledky chôdze potvrdili, že aj táto základná lokomócia nie je dokonalá a je možné sa v nej zlepšovať aj v dospelom veku a predchádzať zdra-

votným problémom, prípadne pri ich výskyte sa tieto môžu správnou chôdzou a polohami tela odstrániť.

Na základe získaných informácií je možné vytvárať modely techniky, ktoré sú dobrým študijným materiálom pre tvorbu empirických a kinematických schém využiteľných v teórii športového tréningu i v praxi.

Literatúra

Durovič, N., Lozovina, V., & Mrduljaš, D. (2008). New biomechanical model for tennis serve. *Acta Kinesiologica*, 2(2), 45-49.

Ivančević, T. et al. (2008). Biomechanical analysis of shots and ball motion in tennis and the analogy with handball throws. *Physical Education and Sport*, 6(1), 51-66.

Psalman, V. (2007). Hodnotenie techniky tenisového úderu prostredníctvom troj-rozmernej biomechanickej analýzy. *Sborník abstrakt mezinárodní konference Sport a kvalita života 2007*. Brno, 114.

Psalman, V., Zvonař, M., & Paldanová, A. (2009). Kinematic analysis of handball throws. *Sport Games in the Light of Empirical Research: Handball*, Wrocław: International Scientific Society of Sport Games, 50-58.

Psalman, V., Zháněl, J., & Duvač, I. (2014). Laterálne odlišnosti v chôdzi dospeléj populácie. *Studia sportiva* 2014, 3, 169-188.

Subijana, C. L., & Navarro, E. (2009). Kinetic energy transfer dutiny the serve. *J. Hum. Sport Exerc.*, 4(2), 114-128.

Štumbauer, J., & Vobr, R. (2005). *Moderní lyžování*. České Budějovice: Kopp.

Štumbauer, J., & Vobr, R. (2005). *Windsurfing*. České Budějovice: Kopp.

Štumbauer, J., & Vobr, R. (2007). *Carving*. České Budějovice: Kopp.

Vaverka, F., & Černošek, M. (2013). Association between body height and serve speed in elite tennis players. *Sport Biomechanics*, 12(1), 30-37.

Vobr, R. (2003). Možnosti kompenzace pohybové zátěže v ledním hokeji. In Pavlík, J.: *Nové poznatky v kinantropologickém výzkumu*. Brno: Masarykova univerzita.

Vobr, R. (2006). *Snowboarding*. České Budějovice: Kopp.

Doc. RNDr. Vladimír Psalman, Ph.D.

KTVS PF JU

Na Sádkách 2/1

370 05 České Budějovice

vpsalman@pf.jcu.cz