

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

Autoreferát disertační práce

**Analýza herního zatížení ve
sportovních hrách na příkladu
volejbalu**

Obor
Kinantropologie

Pracoviště
Laboratoř sportovní motoriky

Vedoucí disertační práce:
Prof. Ing. František Zahálka, Ph.D.

Konzultant disertační práce
PaedDr. Tomáš Malý, Ph.D.

Vypracoval: **Mgr. Mikuláš Hank**

Praha 2020

1. ÚVOD

„Pohyb je život, ...činnost živého těla, která je nezbytná pro udržení zdraví, ...ale nedostatek anebo přebytek pohybu je pro tělo velmi škodlivé“

- Diderot et d'Alembert (1970)

Fyzický pohyb v kontextu sportu a cvičení je stresorem, který vyvolává fyziologické a psychologické reakce a konsekvntně adaptaci buněčných a orgánových systémů lidského organismu. Impellizzeri et al. (2019) dále zdůrazňuje, že jestli chtějí trenéři a vědci tyto adaptivní změny co nejvíce progresivně ovlivnit, musí úroveň těchto stresorů ve formě tréninkového nebo herního zatížení na hráče kontrolovat a aplikovat na individuální úrovni.

Tréninková strategie musí být optimalizována podle specifických interních a externích nároků utkání, které klade sportovní hra na hráče a jednotlivé herní specializace dané sportovní hry (Bartlett et al., 2017; Brughelli et al., 2008; Gómez-Carmona et al., 2019; Halson, 2014; Impellizzeri et al., 2019; Jaspers et al., 2018; Lehnert et al., 2008; Sweeting et al., 2017; Van Hooren & Bosch, 2016; Weaving et al., 2014).

Vědecký problém této disertační práce je namířen na kvantitativní evaluaci a kvalitativní analýzu externího herního zatížení hráčů v oficiálním volejbalovém utkání. Tato nutnost co možná nejpřesnější kvantifikaci zatížení v utkání je podle Vlantes & Readdy (2017) nepopíratelná v udržování fyzického zdraví volejbalových hráčů. Pro evaluaci pozičních dat a následné kalkulaci zrychlení pohybu byla zvolená kinematická 3D video analýza.

Hledání rovnováhy mezi úrovní pohybu, která podporuje regeneraci a zkvalitňování svalového tkaniva a úrovní, která ji může poranit – to je hlavním cílem evaluace té optimální úrovně pohybové aktivity (Oatis, 2009). Pro elitního sportovce to představuje dvě roviny – zdravotní a výkonnostní. Specifický pohybový projev totiž tvoří jejich denní pracovní náplň a jako každý z dlouhodobých režimů (elitní sportovec dosáhne za jeden týdenní makro-cyklus od 16 do 30 hodin tréninku), zvyšuje potenciál pro vznik zranění a svým stereotypem fatálně ovlivňuje muskuloskeletální a nervosvalový systém subjektu.

- Identifikace optimální úrovně pohybové aktivity pro každou specifickou sportovní hru a v ní obsaženou hráčskou specializaci je posláním vědeckého bádání.

Detailní, téměř atomická analýza prvků pohybu je pomocí dnešní technologií dostupnou prioritou pro elitní sport. Porozumění problematiky musí začít podle Chèze (2014) observací daného fenoménu a o kvantifikaci toho „jak a kolik se člověk hýbe“ nám referuje kinematická analýza lidského pohybu.

Sport v kontextu fyzické práce a pohybu spadá v případě disharmonického rozložení interního a externího objemu v kombinaci s věkem a úrovní připravenosti do zóny nebezpečí, která zvyšuje riziko akutního zranění nebo chronických zdravotních potíží (Chèze, 2014). Volejbal je jedním z nejvíce populárních sportů ve světě a jeho počátky sahají více než sto let do minulosti. Poznatky byli od této doby značně rozšířené výzkumem, ale podle Silva et al. (2016) stále existují určité nesrovnalosti v oblasti techniky, fyziologie, nutriční a také psychologie. Specifická strategie, intenzita, objem a periodizace tréninku se ve sportovních hrách musí tedy odrážet od reálných podmínek v utkání (Silva et al., 2016). Diagnostika exaktních externích a interních podmínek je právě faktorem pro evaluaci adaptačních a fyziologických předpokladů. Nové bádání musí podpořit vědomosti o úrovni zatížení přímo v utkáních sportovních her. Téma pro monitoring výkonu ve volejbale pomocí analýzy utkání byla cílem mnoha studií (Hank et al., 2015, 2016, 2019; Sanders et al., 2018; Silva et al., 2016, 2016 B; McGarry et al., 2013, O'Donoghue & Holmes, 2015; Vlantes & Readdy, 2017).

Volejbal klade vysoké nároky na motorické dovednosti a fyzické schopnosti. Práce má za úkol odpovědět na otázky, zdali existují rozdíly v herním zatížení hráčů v závislosti na jejich herní specializaci, podle postavení ve hře (stojí-li hráč v přední nebo zadní zóně), typu zahájení roze hry (jako je příjem anebo podání soupeře) anebo úspěšnosti roze hry (získá anebo ztratí analyzované družstvo bod). Pro tento typ evaluace v reálných podmínkách utkání sportovních her, v našem případě elitního volejbalu, jsme zvolili kinematickou analýzu pohybu. Časo-prostorová analýza pohybu má za úkol evaluaci externích charakteristik motorického projevu jednotlivých hráčských pozic. Ve volejbale odhaluje důležité, a hlavně reálné rozdíly v požadavcích na hru a snaží se tak vědecky podložit detailní informace o charakteru každé hráčské pozice. Fyzické požadavky a herní zatížení utkání musí být na elitní úrovni determinováno s co nejvyšší přesností (Silva et al., 2016).

Je to silově-dynamický sport, který obsahuje krátké, vysoko-intenzivní roze hry s krátkými přestávkami, ve kterém hraje značný úkol genetická predispozice somatotypu, a dále konzistence a diferenciacie typů svalových vláken (Zary et al., 2010). Rychlostní předpoklady jsou silně geneticky determinovanými složkami výkonu (Sawczuk et al., 2011). Přes vrozené predispozice, vědecky podložené specifické tréninkové metody mají za cíl optimálně, a hlavně efektivně rozvíjet zdravý hráčský potenciál. Konáme tak

z důvodu snižování rizika zranění (primární nebo sekundární rezistence vůči zranění) a protipól tvoří progres ve specifické výkonnosti (specifické fyzické připravenosti). "

Somatotyp hráčů je často přisuzován faktoru, který ovlivňuje samotný výkon, ale **systematický a odborný trénink je kritický a ničím nenahraditelný**, jak pro rozvoj talentu, tak pro udržení dlouhodobé elitní výkonnosti (Bompa & Buzzichelli, 2015; Reeser & Bahr, 2017; Turner, 2018).

Reliabilní technologie nositelných modulů (akcelerometr s polohovým systémem GPS) pro záznam akcelerace a pozice je v poslední době na vzestupu, navzdory své vysoké finanční náročnosti. Vlantes & Readdy (2017) konstatuje, že jejich využívání změnilo způsoby kvantifikace sportovních nároků ve sportovních hrách. Reálně se uplatňují hlavně ve sportech jako je fotbal, americký fotbal a taky rugby. Limit GPS modulů vidí studie ve sportech, které se odehrávají ve vnitřních prostorech a proto zdůrazňuje, že studií zabývajících se sporty uvnitř je málo. Naopak, studií, které využívají jenom údaje pomocí akcelerometru je poměrně více a výsledky externího zatížení jsou ne vždy dostatečně přesné. Konkrétně studie pro kvantifikaci a analýzu externího zatížení v oficiálním elitním volejbalovém utkání pomocí akcelerometrů nebyli do této doby provedeny (Vlantes & Readdy, 2017).

Hlavním důvodem je nemožnost nošení akcelerometru nebo GPS modulů po dobu oficiálního utkání elitních soutěží ve volejbale. Zpětné zpracování (anglicky „post-processing“) video záznamu je proto východiskovou metodou, pro evaluaci pozičních dat. Tato metoda kvantifikace zatížení a pozičních údajů je ve sportovních hrách značně využívaná a vzácná (Hank et al., 2016; Chen et al., 2012; Li et al., 2017; Sheppard et al., 2009; Oliveira et al., 2020; Vlantes & Readdy, 2017; Wnorowski et al., 2013; Zahalka et al., 2017). Optometrická metoda má určité kvalitativní výhody vůči metodě sběru dat pomocí nositelného modulu. Přináší možnost analyzovat jakýkoli utkání ve dvou-rozměrném (2D) nebo troj-rozměrném (3D) prostoru a taky individualizovat nebo zpětně vybrat segmenty pro analýzu, které jsou zachycené na obrazu. Nevýhodou je poměrně složitá kalibrace prostoru a kamer, zpracování a samotné stopování objektů (anglicky „tracking“).

- Kritériem této práce bylo zvolit vhodnou metodu, která umožní analyzovat pohyb hráček v reálním a oficiálním utkání elitních volejbalistů ve všech třech rovinách.
- Cílem této studie bylo kvantifikovat, evaluovat, vypočítat a komparovat externí zatížení elitních volejbalových hráček, reprezentováno koeficientem „*herního zatížení*“ ve všech třech rovinách pohybu během utkání Ligy mistrů žen (CEV *Champions League*).

2. TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE

2.1 Nástroj sledování – kinematická analýza pohybu

Cílem dnešní analýzy pohybu je odborná reprodukce a reinterpretace pohybu tělesa (lidského těla a jeho částí) z reálného do virtuálního prostoru a směřuje od popisu k porozumění a výkladu. Technologie indikace, záznamu a reinterpretace trajektorií a derivace sil se dnes děje ve dvou nebo trojrozměrném prostoru (3 D).

V prvním případě, může být **kinematika objektu** analyzována po-zpracování (z angl. „*post-processing*“) **předem nahraného video záznamu**. Obrazový záznam se pořizuje většinou kamerami s vysokým rozlišením a před záznamem je nutné zachytit kalibračně referenční body v reálném prostoru (které budou v pozdních krocích sloužit jako reference ke kalibraci virtuálního prostoru a jeho rekonstrukci). Metoda kinematické analýzy pomocí video záznamu nám dovolí provádět se správnou kalibrací jak dvou, tak i troj rozměrnou (použijeme-li min. dvě kamery) analýzu. Není ekonomicky náročná a dovolí nám například zasahovat do procesu kalibrace anebo „pohybovat“ s analyzovanými body. Negativním aspektem je menší přesnost měření, a hlavně limit snímkovací frekvence kamer. Zpracování a stopování jednotlivých bodů snímek za snímkem je s modernější technologií sice rychlejší, ale odborná lidská kontrola je vždy nutná. Zejména u delších časových záznamech, které potřebují velkou výpočetní kapacitu.

Druhá metoda systému záznamu pohybu (z angl. Motion Capture system; MoCap) je více automatizovaná a probíhá **přítomným záznamem pozičních údajů** sledovaných objektů; tj. „real-time tracking“. Tento systém je podle Chèze (2014) schopen plně reprodukovat pozice, orientace a pohyby několika bodů ve stejném čase. Pozice a orientace těchto předem označených bodů jsou reprodukovány ve virtuálním prostoru okamžitě s maximální přesností (většinou je to méně než 0,01 cm). Je to metoda široce využita jak v zábavním oboru filmařství a počítačových her, tak i vysoce odborné vědecké sféře analýzy pohybu ve sportovní vědě, rehabilitaci a další zdravotní práci s pacienty.

Automatické systémy živého záznamu kinematické analýzy dělíme na **pasivní a aktivní**. Pasivní systém pracuje na metodě, kdy speciální kamery v jednom momentu emitují a následně zachycují infračervený světelný odraz od reflexních bodů, které jsou odborně umístěny na subjektu (Obrázek 1). **Výhodou** je poměrně velký prostor pro realizaci a záznam dat, **nevýhodou je nutnost použití systému jen v laboratorních podmínkách s kontrolovaným světlem (pro narušení chodu kamer)**.

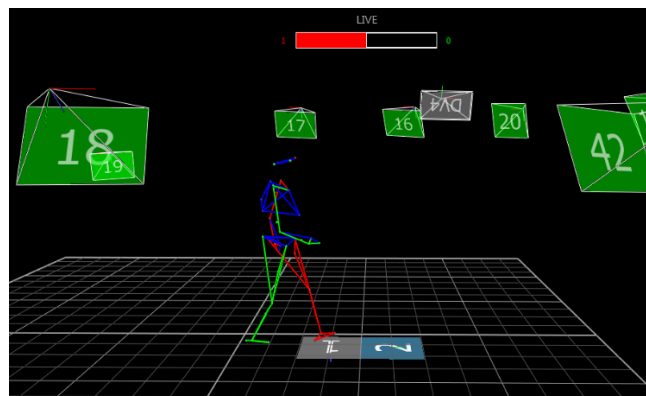
Aktivní systémy využívají vysílání zpětného signálu nízké frekvence přímo z bodů umístěných na subjektu a tím poskytují po zachycení senzorem přesnější a amplifikovaný signál (informace o pozici a orientaci). Výhodou aktivního systému je menší počet senzorů pro příjem signálu a možnost použití externě – v terénu. Nevýhodou je menší prostor realizace nebo vyšší finanční náročnost.

Tyto frekvenční systémy záznamu pohybu se v realitě setkávají, bohužel, s problémem samotných senzorů na těle sportovce (tzv. „markrů“). Při pohybu můžou narušit samotné technické provedení a ovlivnit subjektivní pocit analyzovaného subjektu.

- **Proto, zpětná analýza kvalitně kalibrovaného videozáznamu přináší možnost analyzovat pohyb bez toho, aby ho nějakým způsobem ovlivnila a narušila. O to víc je vhodnější ve sportovních hrách a oficiálních utkáních, kde samotná pravidla nepovolují nosit hráčům žádné přídavné zařízení (jako marky, senzory, hodinky apod.).**



Obrázek 1: 3 D kinematická analýza pohybu pasivním systémem pomocí infračerveného odrazu světla od bodů na těle šermíře (Chèze, 2014).



Obrázek 2: 3D vizualizace analýzy chůze systémem VICON, Nexus 2.5 (Vicon, Oxford, Velká Británie)

Analýza sportovního pohybu ve třech rovinách má za cíl přinést hluboký vhled a porozumění do kvantitativního a kvalitativního (technického) provedení a taky do samotnému rozvoje sportovce a jeho pohybu. Tato analýza je široce využívána trenéry v přípravě sportovců a přechází až do kvantitativního poznání (objem externího zatížení jako je distance, rychlost a jejich derivace akcelerace apod.). Využití nachází u klinických pracovníků v diagnostice funkčních poruch pohybového aparátu anebo detailní observace neuro-motorické poruchy po zranění.

Analýza pohybu a jeho klinická aplikace se dostala do vysoce odborné úrovně. Systematická interpretace chůze je jedním z nejvíce bádáných pohybů vůbec. Kamerový záznam sice přináší relativně jednoduchou implementaci do každodenního pozorování, ale detailní analýza pokročilými systémy umožňuje mnohem širší využití.

Vysokofrekvenční záznam údajů o polohách bodů ve všech třech rovinách a libovolná rychlost jejich přehrávání je odbornou výhodou, taky přímá implementace metod jako je elektromyografie nebo dynamické údaje pomocí silových platforem.

2.1.1 Kinematická analýza ve volejbale

Kinematická analýza pohybu se za posledních 20 let stala široce používaným nástrojem a postupem v kvalitativní a kvantitativní evaluaci pohybu (Janura & Zahálka, 2004). Výzkum volejbalu využívá 3D kinematickou analýzu na analýzu jednotlivých segmentů techniky pohybů, jako je například pohybu po hřišti nebo rozběh a výskok (Cisar & Corbelli, 1989; Coleman, Behnam, & Northcott, 1993; Maly a kol., 2009; Park, 2003). Celková vzdálenost distance pohybu s vysokou přesností pohybu elitních volejbalistek během rozehér a utkání ještě nebyla analyzována. Podle autorů, existuje jediná studie Mroczek et al. (2014), která monitoroval motorické aktivity v elitním mužském volejbale.

Detailní analýza pohybu s komparací volejbalového rozběhu byla provedena doktorskou prací Davis (1968). Jednalo se o srovnání rozběhu „s“ a „bez“ závaží na kotníkách. Analyzovány byli maximální uhlové rychlosti končetin, momenty síly a doba letu. Všechny pokusy se zátěží dosáhly kratšího času v dobách letu. Taky uhlová rychlost dolních končetin dosahovala vyšších hodnot bez zátěže. Progresivní výzkum ve volejbale provedl taky Stankiewicz (2013). Studie doporučila zlepšení volejbalových tréninků hlubší vědeckou implementací nebo analýzou biomechanických vývojových předpokladů a realizací pohybových akcí.

Nejnovější výzkum elitního volejbalu byl proveden z pohledu následujících aktuálních problémů:

- *biomechanické aspekty* (Coleman, 2017; Chen a kol., 2011; Kapidžic a kol., 2014; Lobietti, 2009; Seminati a kol., 2015) ; Zahalka a kol., 2017)
- *sledování hráčů a míče* (Gomez a kol., 2014; Hank a kol., 2016; Chen a kol., 2012; Li a kol., 2017)
- *analýza utkání* (Häyrinenet al. , 2011; Silva a kol., 2016)
- *technická a taktická analýza her* (Häyrinen & Tampouratzis, 2012)
- *účinek programu pevnosti a kondicionování* (Lehnert a kol., 2009; Newton a kol., 1999; Vavak a kol., 2018)
- *morfologické aspekty* (Mala a kol., 2010; Mala a kol., 2015)
- *proces rozhodování* (Schlappi-Lienhard & Hossnern, 2015).

Nedávné studie (Rabita et al., 2015; Parlebas, 1999; Weynard, 2010) poznamenaly, že biologický potenciál pohybového výkonu člověka je prakticky vyčerpán, zejména kvůli dlouhodobému provádění výzkumu v oblasti vzdělávání. Výkon volejbalu závisí na složitosti mezi biologickými limity, specifickými technickými postupy, pravidly a rychlostí hry. Ve smyslu hodnocení konkrétní hry nebo požadavků na utkání musíme detekovat vnitřní i vnější zatížení stejně. Potom můžeme zlepšit porozumění silám a objemům vnějších zátěží, které hráč během utkání (nebo přípravě v tréninku) překoná. Intuitivně můžeme dojít k závěru, že pohyb volejbalisty vyžaduje akceleraci, rychlé změny směru, obratnost nebo mentální dovednosti, jako je rozhodování a strategické myšlení implementované ve vysoce technických vzorcích pohybu. Takové hrubé hodnocení však nemůže motivovat konkrétní návrh účinné volejbalové praxe. Pozice hráčů v elitním volejbalu se od sebe liší a v důsledku toho musí být tréninkové jednotky upraveny zvláštním způsobem (Lehnert et al., 2009). Během elitního zápasu sdílí šest volejbalových hráčů relativně malý prostor hřiště (9 mx 9 m) a intenzivní pohyb může snadno způsobit až 80% maximální intenzity maximální srdeční frekvence; SF^{\max} (Lehnert et al., 2009; Schläppi-Lienhard & Hossner, 2015; Wei-ping, 2009). Vedená, dlouhotrvající a vhodně navržená praxe je rozhodující složkou pro dosažení technické a biologické synchronicitě všech činností včetně sportovních her (Ericsson, 1993).

Kvantifikace pohybových vlastností byla široce používána v elitním sportu pomocí systému určování zeměpisné polohy Global Positioning System (GPS) nebo jiných automatizovaných systémů pro sledování hráčů (Gomez et al., 2014; Chen et al., 2011, 2012; Kapidzic et al., 2014; LI et al., 2017; Palao, 2014; Seminati a kol., 2014; Wagner a kol., 2014). Pokud jde o rychlé změny směru, GPS výrazně snižuje přesnost a absolutní spolehlivost (Rawstorn et al., 2014). Proto jsou v moderních modulech pro analýzu pohybu ve sportu spojeny technologie GPS, gyroskopu a akcelometrů. Požadavky na postavení každého hráče musí být prozkoumány a dále diferencovány, aby umožnily efektivní trénink a nastavení přiměřeného množství zátěže (Bompa & Buzzichelli, 2015; Cardinale et al., 2011; Zatsiorski & Kraemer, 2006).

Volejbalové utkání je komplexní sportovní aktivita dynamického charakteru, kde vztah a kombinace biomotorických schopností rychlosti a síly převažuje nad vytrvalostními schopnostmi. Bompa a Haff (2009) klasifikují vztah mezi biomotorickými schopnostmi a konstatuje, že síla, rychlost a vytrvalost jako komplex jsou velmi důležité schopnosti pro úspěšný sportovní výkon. Lehnert et al. (2008) věří, že v moderním elitním volejbalu se klade velký důraz na tréninková cvičení podle individualizace konkrétních herních pozic. Spolu s rychle prováděnými herními dovednostmi se zvyšuje

také obtížnost pohybu a reakce, technické dovednosti a fyziologické dovednosti jednotlivců. Jelikož se volejbal jako týmový sport vyznačuje svou technickou obtížností, objevují se ve volejbalovém utkání přerušované typy pohybu středně a krátkodobě intenzivního zatížení (Wei-ping, 2009). Volejbalové utkání vyžaduje velmi dynamické změny směru v relativně malém prostoru, ale při vysoké intenzitě pohybu (max. 80 % SF^{max}). Hra vykazuje tedy charakteristiky intermitentního zatížení a hráči v takovém zatížení zůstávají až 20 % hracího času (Lehnert et al., 2008). Rychlé a flexibilní reakce v malém prostoru jsou určovány úrovní pohyblivosti. Agility je podle Bompa & Haff (2009) produktem komplexní kombinace rychlosti, koordinace, flexibility a výbušnosti. Ve volejbalu se používá pro rychlé a správné načasování při obraně hřiště, ale taky ke taktické pozici pro útok. Specifický rozvoj biomotorických schopností a jejich integrace musí být správně metodicky navržen; na druhé straně rozvoj pouze jedné schopnosti ovlivňuje i jiné schopnosti. Při zkoumání „fyziologických požadavků v utkání“ se studie zaměřují buď na sledování interních parametrů fyzické zátěže, jako je srdeční frekvence (SF), hladina laktátu (v mmol), a hodnocení vnímané námahy (RPE) (Gonzalez et al., 2005; Hakkinen, 1993; Lehnert et al., 2008; Rodriguez-Marroyo, Medina, Garcia-Lopez, Garcia-Tormo, & Foster, 2014; Viitasalo et al., 1987). Následuje taky popis externího zatížení, jako je kvantifikace (počet) skoků, úderů, distance atd. (Sheppard, Gabbett a Stanganelli, 2009).

Přesná kvantifikace fyzické zátěže z hlediska celkové distance pohybu u elitních volejbalových hráčů není známa. Sledování pohybů hráčů v různých sportech (házená, basketbal, fotbal, ragby) bylo tématem řady studií (Bloomfield, Polman, & O'Donoghue, 2007; Carling, Bloomfield, Nelsen a Reilly, 2008; Erčulj et al., 2008; Figueroa, Leite, & Barros, 2006; Perš, Bon, Kovačič, Šibila, & Dežman, 2002; Perše, Kristan, Kovačič, Vučkovič, & Perš, 2008; Vučkovič & Dežman, 2001). Studie specificky zaměřené na sledování hráčů a předmětů na hřišti používaly několik metod. Ve většině případů se pro sledování pohybového profilu používá GPS (Global Position System), který dokáže vyhodnotit změny polohy objektu s dostatečnou přesností ve sportu, jako je fotbal, ragby a americký fotbal, a výrazně přispívá k tréninkovému procesu.

2.2 Herní zatížení hráče ve sportovních hrách

„Monitoring herního zatížení je základním stavebním kamenem pro efektivní strategii tréninkových programů – měření zatížení je dobré, ale měření jeho následků je klíčové.“

- Gazzano & Gabbett (2017)

Diagnostika, lépe řečeno evaluace herního zatížení je nutný prediktant samotného výkonu a taky rizika zranění pro elitní hráče. Zatížení (anglicky „workload“; „load“; „player load“) je podle Gazzano & Gabbett (2017) kombinací sportovních a nespportovních stresorů, které kladou nároky na hráče v utkání nebo tréninku. Jde o mnohem větší faktor jako je jenom vývoj utkání, soupeř nebo samotný objem tréninku. Patří do něho hlavně externí stresory jako je celková vykonaná práce (ve Watech), rekreační aktivity, rodina a další úkoly. To všechno ovlivňuje sportovce na jeho cestě k výkonu, nebo ke zranění. Poměr mezi akutním a chronickým zatížením hraje kritickou roli.

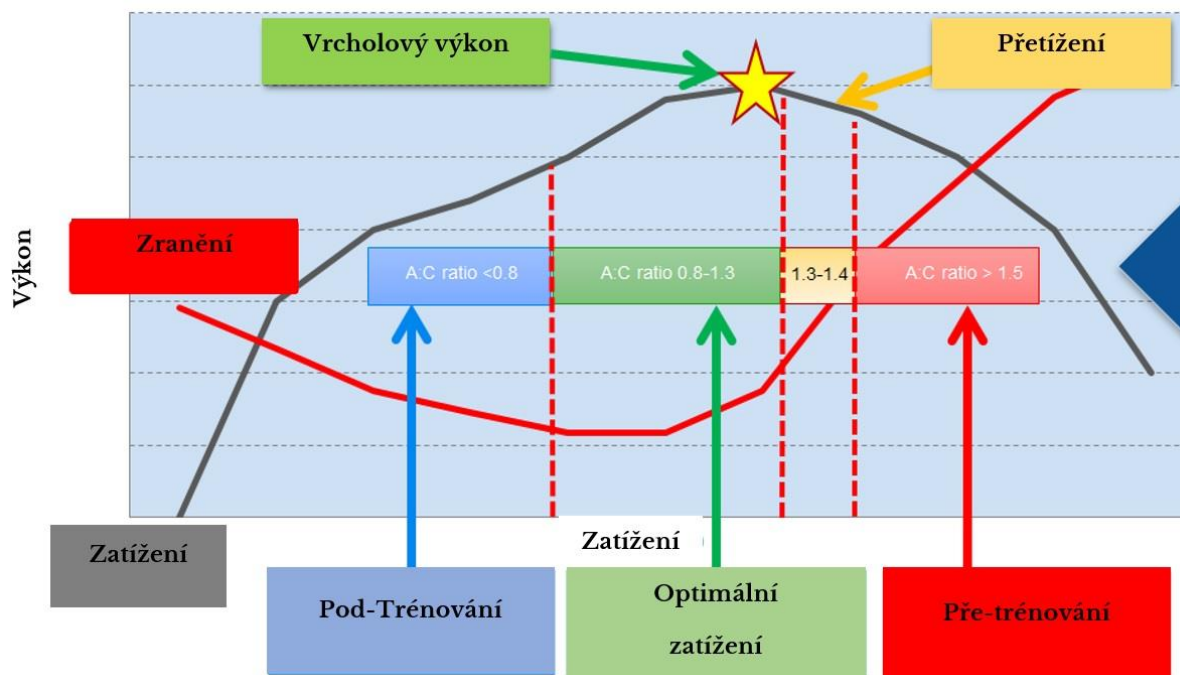
Herní zatížení může být rozděleno na dvě složky:

Interní herní zatížení: Je to individuální psychologická a fyziologická odpověď lidského organismu na stresory životních událostí, biologické faktory a úměrně reaguje na zmíněné externí zatížení. Objektivně měříme interní zatížení nejčastěji monitorováním srdeční frekvence nebo určujeme koncentraci laktátu v krvi (u volejbalu od 3-9 m/mol). Subjektivně lze evaluovat toto zatížení dotazováním na „vnímanou zátěž“.

Externí herní zatížení: Jedná se o fyzické a fyzikální stresory které působí na hráče. Patří sem celková práce (ve Watech), např. Kumulace počtu sprintů, zvednutá objem určité hmotnosti, celková vzdálenost pohybu (ve všech osách X,Y,Z), rychlost pohybu, akcelerací, počet decelerace a podobně. Převážně je evaluován akcelerometry, dynamometry, pozičním systémem GPS, chronometry nebo video analýzou.

Poměr mezi interním a externím zatížením je velmi důležité sledovat navzájem. Vzájemně se ovlivňují a poskytují informace o jednotlivých úrovních kapacity organismu. Externí zatížení nám poskytuje informace o tom „kolik“ hráč odpracoval, jak velký byl objem jeho práce, narozdíl od interního zatížení, které nám poskytuje kritické informace o odpovědi organismu a determinuje nám tak přiměřený stimulus pro tréninkové adaptace. Taky nám poskytuje údaje pro identifikaci únavy, potřebného odpočinku a může predikovat zdravotní problémy. Přetrénování nebo nedostatečný

tréninkový stimulus vedou k nesystematické a neefektivní tréninkové strategii. (Gazzano & Gabbett, 2017).



Obrázek 3: Vizualizace poměru (ratio) akutního (A) a chronického (C) zatížení vzhledem k incidenci zranění dle Gazzano & Gabbett (2017)

Na Obrázku 3 nám Gazzano & Gabbett (2017) vysvětluje dopad neúměrného tréninkového zatížení a jeho dopad ve formě rizika zranění a přetrénování. Dále vysvětluje, že připravenost a risk se u hráče mění ze dne na den, proto i toto zatížení a aktuální stav hráče musí být objektivní nebo subjektivní formou evaluován v každé tréninkové jednotce. Optimální zatížení je tedy velmi individuální a může být podle této studie monitorováno třemi determinanty. **Poměrem akutního a chronického zatížení, nárůst zatížení z týdne na týden a před-tréninkovým wellness** (bolesti, kvalita spánku, subjektivní vnímání stresu, úroveň únavy). Podle těchto determinantů, se z důvodu efektivity tréninkového procesu musí trenér ujistit o jejich akutním stavu.

Weston (2013) důrazně upozorňuje na **důležitost monitorování velikosti objemu** a zatížení právě v **utkání** a jeho přirozeného následku na hráče. Důvodem je hlavně **strategie pro další trénink** a taky strategie pro regenerační procesy. Zmiňuje se o využívání GPS senzorů pro evaluaci externího zatížení jako stimulus, který úměrně ovlivňuje adaptace interního zatížení. **Subjektivní informace o zatížení**, o vnímaném stresu nebo aktuální náladě jsou podle Robson-Ansley et al. (2009) silně **reliabilní indikátory** adaptace na zatížení a můžou v praxi překonávat (hlavně z praktického

hlediska) biochemické nebo fyziologické testy. Studie z roku 1997 od Lehmann et al. zmiňuje, že většina **virových infekcí, zranění a vyhoření** jsou spojovány právě **disharmonií mezi zátěží v tréninku, utkání a odpočinku**. Tato disharmonie vede k termínu „pře-trénování“. Tohle tvrzení potvrzuje taky Foster (1998), kde studie zjistila, že když hráč **přesáhne individuální tréninkový limit**, dosahuje **větší procento onemocnění**. Novější studie Laux et al. (2015) podporuje tento fakt tím, že připomíná hráčům a trenérům důležitost **kvality spánku a úrovně únavy**, které jsou silným **prediktorem rizika zranění**. Psychologie hraje v elitním sportu extrémně podstatní úkol. Hráči, kteří překonávají **silný psychologický stres** mají **až 3,19krát vyšší riziko zranění** (Mann et al., 2016).

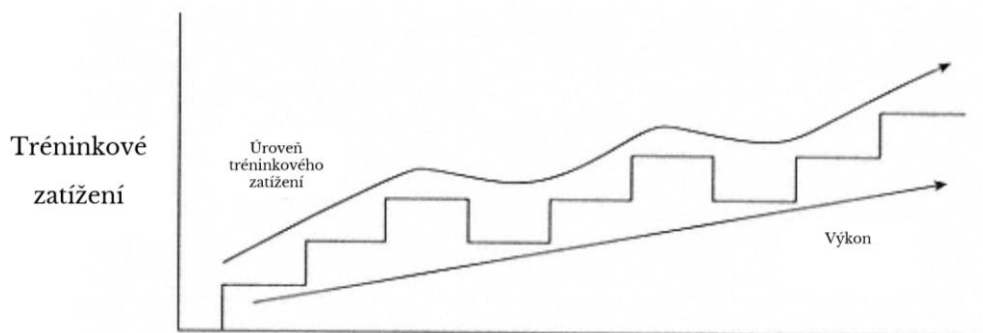
Volejbalové utkání si vyžaduje velmi dynamický charakter změny směru pohybu v relativně malém prostoru. Avšak v malém prostoru, ale při vysoké intenzitě pohybu (max. 80% bpm) vykazuje volejbalová hra charakteristiky přerušovaného zatížení. Hráči zůstávají v takovém zatížení až do 20% herního času (Lehnert et al., 2008). Rychlé a flexibilní reakce v malém prostoru jsou determinovány úrovní pohyblivosti. „Agilita“ je podle Bompas a Haff (2009) produktem komplexní kombinace mezi rychlostí, koordinací, flexibilitou a výbušnou silou. Ve volejbalu se používá rychlé a správné načasování při defenzivní a taky ofenzivní činnosti. Specifický rozvoj biomotorických schopností a jejich integrace musí být tedy správně metodicky stanovena. Když zkoumáme "požadavky reálného utkání", studie se musí zaměřit buď na monitorování vnitřních parametrů fyzické zátěže, jako například srdeční frekvence, hladina laktátu a hodnocení vnímané námahy (RPE) (Gonzalez a kol., 2005; Hakkinen, 1993; Lehnert a kol., 2008; Rodriguez-Marroyo, Medina, Garcia-Lopez, Garcia- Tormo, & Foster, 2014; Viitasalo a kol., 1987) nebo o popisu vnějšího zatížení, jako je například počet výskoků, úderů, dráha pohybu, distance apod. (Sheppard, Gabbett, & Stanganelli, 2009). Přesná kvantifikace fyzikálního zatížení z hlediska celkové vzdálenosti pohybu v elitním volejbale nejsou plnohodnotně známy. Sledování pohybu hráčů v různých sportovních hrách (házená, basketbal, fotbal, ragby) bylo téma několika studií (Bloomfield, Polman, & O'Donoghue, 2007; Carling, Bloomfield, Nelsen a Reilly, 2008; Erčulj a kol., 2008; Figueroa, Leite a Barros, 2006; Persil, Bon, Kovačič, Sibiu, & Dežman, 2002; Persil, Kristan, Kovačič, Vuckovic, & Persil, 2008; Vuckovic & Dežman, 2001). Studie specificky zaměřené na sledování hráčů použili několik metod. Ve většině případů byl na sledování pohybového profilu použitý systém GPS (Global Position System), který je schopen vyhodnotit změny polohy objektu pomocí satelitních údajů, ale taky ve spolupráci se vstaveným akcelerometrem. Hlavně ve sportech jako je fotbal, ragby a americký fotbal.

2.4 Kondiční připravenost a kondiční zatížení ve volejbale

Volejbalové utkání je komplexní sportovní aktivita s dynamickým charakterem, kde kombinace rychlostních a silových biomotorických schopností má relativní přednost před vytrvalostními schopnostmi. Bompa a Haff (2009) klasifikují úzký vztah mezi biomotorickými schopnostmi a zdůrazňují, že síla, rychlost a vytrvalost jsou komplexně velmi důležité pro úspěšný sportovní výkon. Lehnert et al. (2008) se domnívá, že moderní elitní volejbal klade velký důraz na trénink podle individualizace konkrétní hráčské specializace neboli postu. Rychlá hra klade vysoké nároky na úroveň obtížnosti pohybu a reakčních schopností a ty se musí propojit s technickými dovednostmi. Specifickým tréninkem jednotlivci zvyšují své fyziologické kapacity. Od svého začátku se volejbal jako týmový sport vyznačuje vysokými technickými nároky. Volejbalové utkání má mnoho intermitentních druhů zatížení na které se musí hráči specificky rozvíjet (Wei-ping, 2009).

Progresivní adaptační změny jsou vyvolány systematickým tréninkem, jehož poměr mezi kvalitativním a kvantitativním objemem odpovídají specifitě daného sportu. **Kvalitativní aspekt** (technika) pohybu je primárním předpokladem pro vykonávání jednoduchých cyklickým, nebo složitějších acyklických otevřených pohybových vzorců. **Kvantitativní aspekt** odpovídá velikosti a intenzitě tréninkového objemu. Elitní sportovní hry musí přijmout a najít časový prostor pro implementaci kondičního tréninku ze třech rovin. Preventivní rovina má za cíl nervosvalovým učením a specifickým, většinou zaměřeným na posílení svalových mikrostruktur, připravit subjekt, aby dokázal technicky a silově odolávat **externím** (impakty, dopady, přetížení změn směrů, trakce, rotace apod.) a **interním** (např. únava, srdeční frekvence, laktát) nárokům. Další rovina by měla směřovat k čistě výkonnostnímu charakteru, který musí brát ohled na zdravotní stav subjektu.

Zvyšování fyzické, fyziologické a technické výkonnosti se musí dít progresivně od obecného charakteru směřujícímu k specifickému transferu (Obrázek 4). Hlavním determinantem pohybu je interakce nervového a svalového systému. Proto se zastává názor, že úroveň kvalitativního (technického) projevu by měl předcházet rozvoji základních schopností jako je síla, rychlost a vytrvalost (Bompa, 2015).



Obrázek 4: Křivka progresivního tréninkového zatížení podle Bompa (2015)

Specificita daného sportu nám deduktivně nabízí vhléd do problematiky, kterým směrem se v kondiční přípravě vybrat. Převládá-li ve sportu spíše lineární pohyb nízké rychlosti, nebo převládají rychlé změny směrů pohybu ve všech třech rovinách je otázka expertní analýzy. Mnoho poznatků o převládajícím „typu“ zatížení jde podložit empirickým sledováním, ale evaluaci konkrétních objemů, poměrů a úrovní těchto zatížení už empiricky není možné (Greenwood et al., 2012). Musíme využít vědecký přístup na to, abychom objasnili, jaký profil a úroveň zatížení hráč v realitě dosáhl („kolik“ toho hráč skutečně odpracoval a „jak“ to hráč provedl).

Kondiční trénink ve sportovních hrách využívá všech dostupných tréninkových metod. Jde často o budování adekvátního a sportu-potřebného rozsahu pohybu (mobilita a flexibilita) v kloubních spojeních a následná silová příprava. Somatometrické vlastnosti hráčů se liší sport od sportu a herních pozic. Objem aktivní hmoty a tukové složky těla se v elitní sféře pravidelně kontroluje a kondiční trénink je jedním z faktorů, který to ovlivňuje. Váha hráčů je velmi důležitá z hlediska pohyblivosti a práce na hřišti s vlastním tělem, taky je její optimální úroveň odpovědná za určitou míru rizika zranění z důvodu tlumení nárazů a decelerace při změně pohybů (Boden et al., 2010). Další aspekt kondiční přípravy tvoří rozvoj základních pohybových schopností síly, rychlosti a vytrvalosti.

Systematickému propojování techniky, která simuluje co nejpřesněji pohyb využitý v daném sportu, s kondičním tréninkem pohybových schopností můžeme říkat specifický transfer. Jde o syntézu nabuzení nervo-svalového systému prostřednictvím resistantního nebo motorického stimulu na sval. Stah svalu se doporučuje na úrovni od 70 do 120 % 1 opakovacího maxima (IOM) v případě „*post aktivčního potenciálu*“ (PAP; anglicky post-activation potentiation) z důvodu aktivace co největšího počtu svalových vláken. Vhodnost se doporučuje pro rozvoj dynamických projevů síly, jako je běh, sprint nebo výskok. Tento typ tréninku má za cíl implementovat silový adaptační stimulus přímo do specifického motorického vzorce. V krátkém časovém intervale po silovém

stimulu jsou nervosvalové buňky stále aktivní a doporučuje se proto provést další specifický pohyb, na kterém by se bez silového nabuzení nepodílelo tak velké množství svalových vláken. Syntéza objemového a technického tréninku tak přináší možnost, jak rozvíjet kondici a pohyb samotný (Hamada et al., 2000; Kilduff et al., 2007; Robbins, 2005).

Silový trénink se v minulosti stýkal se skepticizmem k rozvoji rychlosti a dynamiky. Pro úzkou spojitost s přílišným rozvojem svalového objemu (muskulatury) byl velkou částí odborníků odsuzován. Přisuzovali mu narušení koordinace a snížení rychlosti pohybů (Masley et al., 1953). Výzkum rozvoje silových schopností, které měli efektivnější transfer do sportovních her a sportů nabírajících na popularitě stoupal mezi lety 1960 a 1970 (Davis, 1968). Silový trénink nacházel cesty pro rozvoj nejen reliéfu a svalového objemu, ale taky pro zvýšení rychlosti, dynamiky a vytrvalosti pomocí doplňkových cvičení a zátěží. Postupný výzkum ukazoval, že síla byla důležitým determinanem rychlosti ve sprintu a taky koordinaci. Hlavním poznáním, které přinášela věda do kondičního tréninku bylo, že tento trénink musel být systematický a mít specifický cíl (Masley et al., 1953).

3. CÍLE, HYPOTÉZY A ÚKOLY PRÁCE

3.1 VĚDECKÉ OTÁZKY PRÁCE

1. Jak velké jsou distance různých směrů pohybu elitních volejbalových hráček v oficiálním utkání?
2. Jak velké je externí herní zatížení elitních volejbalových hráček v oficiálním utkání reprezentováno objemem rychlosti pohybu jednotlivých herních specializací?
3. Existují rozdíly v distancích pohybu a rozdíly v herním zatížení hráčů v závislosti na jejich specializaci a úspěšnosti rozehry?

3.2 CÍLE PRÁCE

1. **Primárním cílem** této disertační práce je kvantifikovat distanci pohybu elitních hráčů volejbalu v oficiálním utkání.
2. **Sekundárním cílem** této disertační práce je vypočítat herní zatížení z pozičních údajů distance pohybu.
3. **Terciárním cílem** je evaluovat a statisticky komparovat údaje distance pohybu a herního zatížení vzhledem k herním specializacím hráčů a vzhledem k výsledku rozehry.

3.3 HYPOTÉZY PRÁCE

H1: Zvolená metoda 3D kinematické video analýzy umožňuje kvantifikovat distanci pohybu elitních hráčů volejbalu v prostoru během oficiálního utkání a umožňuje vypočítat herní zatížení hráčů.

H2: Herní specializace „Libero“ dosahuje signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné průměrné distance pohybu v horizontální rovině X, Z v komparaci s průměrnými hodnotami ostatních herních specializací „Smečář“, „Blokář“, „Univerzál“ a „Nahrávač“.

H3: V elitních volejbalových rozehrách existuje signifikantně odlišná ($p < 0,05$) úroveň celkového herního zatížení HZ_{Full} mezi herními specializacemi hráčů.

H4: Celkové explozivní herní zatížení ($HZ_{Exp}; < 3,5 \text{ m/s}^2$) dosahuje signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné hodnoty v komparaci s celkovým středním herním zatížením ($HZ_{Norm}; 0 \text{ do } 2,0 \text{ m/s}^2$).

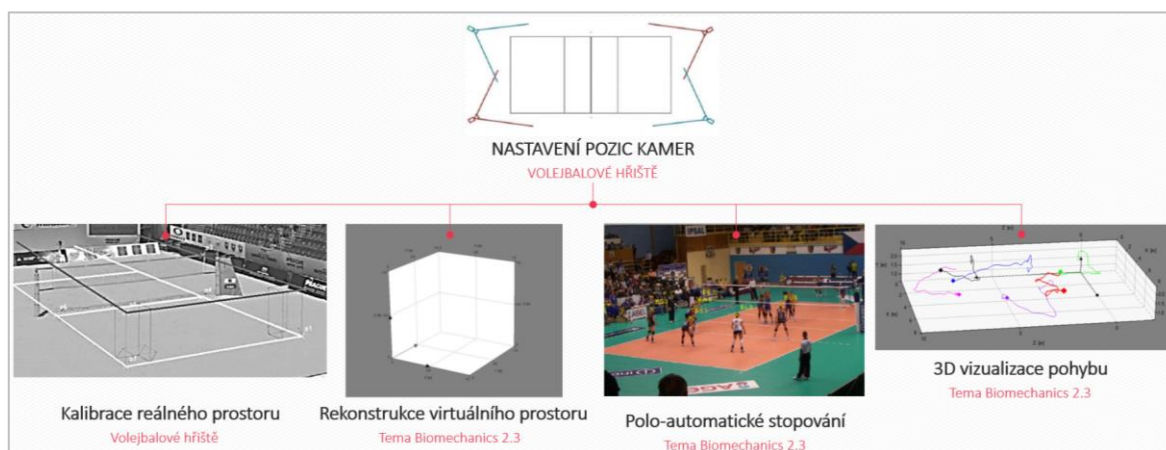
- H5:** Herní specializace „Libero“ dosahuje signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné hodnoty celkového herního zatížení v horizontální rovině X, Z (EZ_{xz}) v komparaci s ostatními specializacemi „Smečář“, „Blokař“, „Univerzál“ a „Nahrávač“.
- H6:** Herní specializace „Blokař“ dosahuje signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné hodnoty celkového herního zatížení ve vertikální rovině Y (EZ_y) v komparaci s ostatními specializacemi „Smečář“, „Libero“, „Univerzál“ a „Nahrávač“.
- H7:** Herní specializace „Smečář“ a „Univerzál“ dosahují signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné hodnoty explozivního herního zatížení ve vertikální rovině Y (HZ_{Exp_y} ; $< 3,5 \text{ m/s}^2$) v komparaci s ostatními specializacemi „Libero“, „Blokař“ a „Nahrávač“.
- H8:** Ve výherních rozehrách dosahují hráči signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné hodnoty celkového herního zatížení (HZ_{Full}) v komparaci s prohranými rozehrami.

4. METODY PRÁCE

4.1 CHARAKTERISTIKA VÝZKUMNÉHO SOUBORU

Skupinu pro analýzu této práce tvořili **volejbalové hráčky**, které působí v elitních volejbalových klubech, které se účastní nejvyšší světové úrovně mezinárodních soutěží ($n = 14$; věk = 25 ± 6 roku; výška = $182,3 \pm 6,2$ cm; hmotnost = $72,1 \pm 5,8$ kg). Tréninkové zatížení těchto elitních hráček se pohybuje mezi 16 až 19 hodinami profesionální tréninkové intervence.

4.2 ORGANIZACE SBĚRU DAT



Obrázek 5: Chronologické schéma metod získávání a zpracování výzkumných údajů softwarem Tema Biomechanics v2.3.

4.2.1 Kinematická analýza pohybu

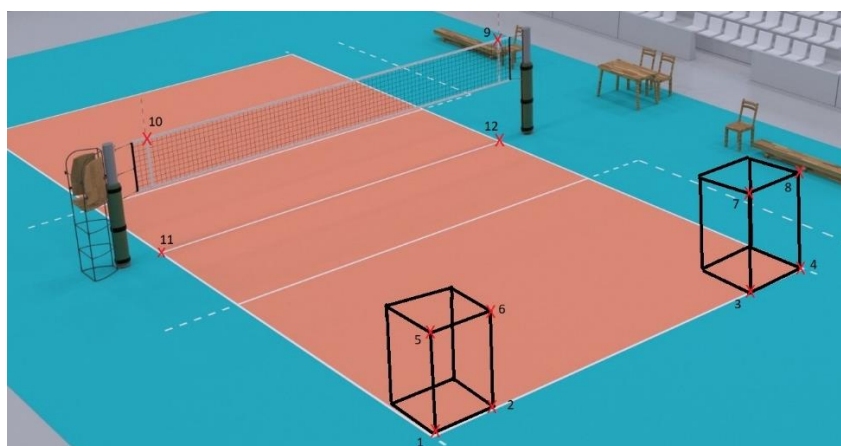
Pro evaluaci pohybu volejbalových hráček během utkání Ligy mistrů (CEV Champions League) byla zvolena 3D kinematická video analýza. Volejbalové utkání bylo zaznamenáno pomocí čtyř stabilních digitálních videokamer HD (SONY HDC90E Sony Ltd., Japonsko) s obnovovací frekvencí 50 polovičních snímků za sekundu a rozlišením obrazu 1920 x 1080 pixelů (Obrázek 5).

Digitalizace obrazu

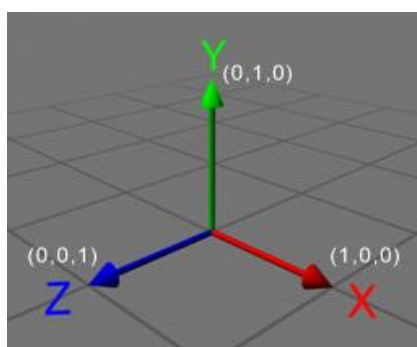
Zaznamenané volejbalové utkání byly digitalizovány do PC pomocí softwaru Virtual Dub a Premiere Adobe.

Kalibrace reálného prostoru

Do reálného prostoru zadních dvou rohů volejbalového hřiště, byli před volejbalovým utkáním umístěny dvě kalibrační krychle o rozměru 1 m x 2 m (Obrázek 6). Stabilními kamerami byl proveden krátký video záznam obrazu hřiště a kalibračních krychlí. Do provedeného úseku videa s kalibračními krychlemi se následně pomocí softwaru Tema Biomechanics 2.3 označilo celkem 12 kalibračních bodů (Obrázek 6). Ke kalibraci a digitalizaci obrazu jsme použili těchto 12 bodů. Po integraci textového souboru do softwaru Tema Biomechanics 2.3, který obsahoval kalibrační souřadnice pro každý ze 12 bodů, software pomocí koeficientů DLT (přímá lineární transformace) provedl zpětnou rekonstrukci prostorových souřadnic s maximálním reziduem 0,05 m pro bod 7 (kamera 1) a 0,0438 m pro bod 6 (kamera 2). Průměrná rezidua byli pro kameru 1 0,033 m a 0,023 pro kameru 2. Minimální reziduum bylo 0,0013 u kamery 1 a 0,0062 u kamery 2 (Tabulka 1). Přesnost měření byla vypočtena se standardní odchylkou 0,0296 m, což znamená 0,3 % zaznamenaného prostoru, což ve skutečnosti byla velikost hřiště (9x9m) plus 2 m za postranní čarou kvůli zaznamenávání pohybu hráčů venku soud.



Obrázek 6: Vizualizace postavení kalibračních krychlí a označených kalibračních bodů



Obrázek 7: Kartézská soustava souřadnic.

Osy X, Y a Z se protínají v jednom bodě se souřadnicí (0, 0, 0)

Tabulka 1: Hodnoty vypočtených reziduí pro 12 kalibračních

bodů kamery 1 a 2 vzhledem k reálně zobrazenému prostoru.

	kamera 1	kamera 2
bod 1	residua (m)	residua (m)
1	0,0365	0,0323
2	0,0507	0,0369
3	0,0106	0,0333
4	0,0013	0,0278
5	0,0323	0,0063
6	0,0275	0,0438
7	0,0548	0,0272
8	0,032	0,0398
9	0,0485	0,0206
10	0,0354	0,0223
11	0,0457	0,017
12	0,0206	0,0062
max	0,0548	0,0438
min	0,0013	0,0062
mean	0,033	0,0261

Legenda: max = maximum, min = minimum, mean = průměr

Trasování (anglicky „tracking“) bodů

Pro reprezentativní bod, který sloužil jako deskriptor polohy a pozice individuálního hráče v prostoru byl expertním posouzením zvolen střed hlavy (SH) (Obrázek 8). Hráčky se v prostoru rychle otáčeli, a tak znemožňovali označit bok, nebo jinou část těla. Označení SH bylo na každé hráčce zaznamenáno do softwaru Tema Biomechanics 2.3 na každém snímku rozehry.



Obrázek 8: Simplifikace pohybu těla. Jednotný bod pro reprezentaci pohybu těla po hřišti a deskripci trajektorie byl zvolen střed hlavy hráčky.

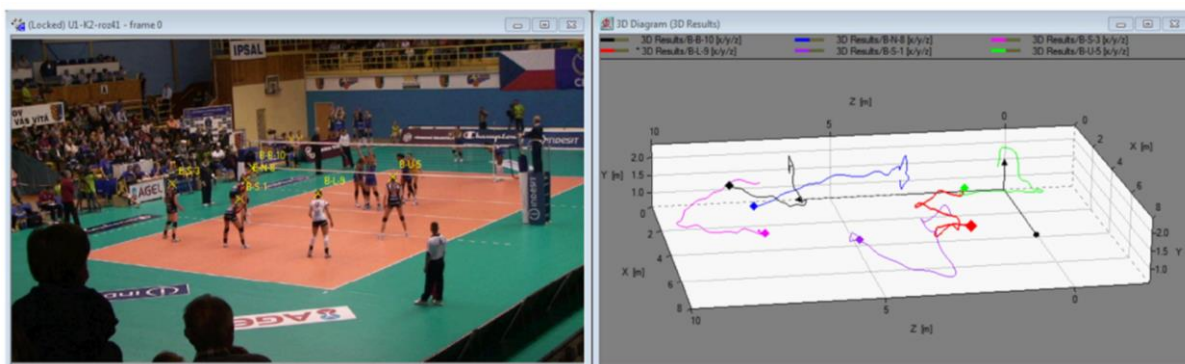
Standardizace začátku a konce roze hry

Pro každou roze hry byl standardizován moment začátku a konce roze hry.

- Začátek roze hry byl moment, kdy volejbalový míč vyhazován na podání dosáhl úrovně hlavy hráčky.
- Konec roze hry byl moment dotyku míče s hrací plochou nebo jinou chybou, pro kterou rozhodčí ukončil roze hry.



Obrázek 9: Příklad standardizace momentu pro začátek roze hry a ukončení roze hry.



Obrázek 10: Digitální reprezentace pohybu hráček v roze hry v reálném ve rekonstruovaném prostoru softwaru Tema Biomechanics 2.3

Pro kalkulaci distance, frekvence, četnosti směrů, rychlosti a zrychlení z pozičních dat pohybu hráček v jednotlivých roze hrách byl použit software Matlab (© 1994-2015 The MathWorks, Inc.).

$$v = \frac{d}{t}$$

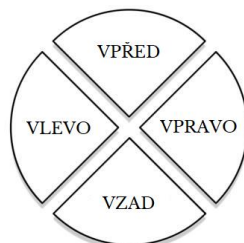
Obrázek 11: Vzorec pro výpočet rychlosti
Legenda: v = rychlost, d = dráha, t = čas

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Obrázek 12: Vzorec pro výpočet zrychlení
Legenda: a = zrychlení, v = rychlost, t = čas, Δ = delta (rozdíl)

Kategorizace směrů pohybu

Celkem 4675 úseků jednotlivých pohybu bylo v této dizertační práci kategorizováno do celkem čtyřech směrů v závislosti na střed hřiště (volejbalovou síť mezi družstvy) na Vpřed, Vzad, Vpravo, Vlevo. Rozsah každého směru jsme v této práci rozdělili o velikosti 90° (Obrázek 13).



Obrázek 13: Kategorizace směrů pohybu v závislosti na volejbalovou síť mezi družstvy.

4.2.2 Herní zatížení hráče

Externí herní zatížení jsme pro tuto studii determinovali jako sumu zrychlení pohybu hráče ve všech třech osách (X, Y, Z) pohybu pro všechny herní specializace a všechny roze hry.

Pro výpočet koeficientu herního zatížení (HZ) jsme použili standardizovanou rovnici (Obrázek 14) využívanou v řadě studií zaměřených na kvantifikaci, evaluaci a objektivizaci herního zatížení (McLaren et al., 2018; Nicolella et al., 2018; Sanders et al., 2018; Vlantes & Readdy, 2017).

Na základě Vlantes & Readdy (2017) a expertního posouzení bylo pro tuto disertační práci HZ kategorizováno podle rovin a intenzit zrychlení na:

- HZ_{Full} – Celkové herní zatížení ve všech třech rovinách X, Y, Z
- HZ_{Norm} – Střední herní zatížení ve všech třech rovinách od 0 do 2 m/s²
- HZ_{High} – Vysoké herní zatížení ve všech rovinách od 2 m/s² do 3,5 m/s²
- HZ_{Exp} – Explosivní herní zatížení ve všech rovinách nad 3,5 m/s²
- HZ_{xz} – Celkové herní zatížení v horizontální rovině X, Z
- HZ_y – Celkové herní zatížení ve vertikální rovině Y
- HZ_{Exp_Y} – Explosivní herní zatížení ve vertikální rovině nad 3,5 m/s²

$$\text{Herní zatížení} = \sqrt{\frac{(a_{y(t)} - a_{y(t-1)})^2 + (a_{x(t)} - a_{x(t-1)})^2 + (a_{z(t)} - a_{z(t-1)})^2}{100}}$$

Obrázek 14: Vzorec pro kalkulaci herního externího zatížení (Nicolella et al., 2018).

Legenda: a = zrychlení, x = osa x, y = osa y, z = osa z, t = čas

4.2.3 Statistické zpracování dat

Evaluována data byla zpracována pomocí MS Excel (Microsoft, USA), Matlab (© 1994-2015 The MathWorks, Inc.) a RStudio (RStudio©, PBC, Boston, USA).

- Ověřování předpokladu normality bylo analyzováno pomocí Shapiro-Wilko testu.
- Ověřování předpokladu homogenity bylo analyzováno pomocí Bartlett testu.
- Významnost odlišnosti dvou faktorů bylo analyzováno pomocí Dvou-Výběrového Student T-Test s konfidenční hodnotou 95 % ($p < 0,05$).
- Významnost odlišnosti více než dvou faktorů bylo analyzováno pomocí jednofaktorové neparametrické analýzy rozptylu (Kruskal-Wallis) s konfidenční hodnotou 95 % ($p < 0,05$).
- Výsledky vícenásobné komparace p hodnot byli posouzeny pomocí metody korekce post-hoc Bonferroni.

5. VÝSLEDKY PRÁCE

Celkem bylo analyzováno 167 rozeher, 997 distancí se 4675 úseky pohybu čtyřech různých směrů ve 4 setech utkání. Individuální data pro každou z herních specializací (neboli „post“) „Libero“, „Nahrávač“, „Smečář“, „Blokař“ a „Univerzál“ se z důvodu různé participace v rozehrách lišilo a četnost individuální participace postů v rozehrách pro Libero bylo 77,8% a Blokař participoval v 61% rozeher. Výsledky byli proto relativizovány pro deskriptivní statistiku ve formě průměrů, směrodatných odchylek a procent. Pro analýzy rozptylu byl tento nevyvážený poměr počtu rozeher pro jednotlivé posty standardní a v závislosti na velký počet rozeher nepřekážel. Poměr rozeher v setech byl vyvážen a jejich počet je znázorněn v Tabulce 2. Celkem 4675 úseků distancí byly kromě celkové analýzy rozděleny do směrů „Vpřed“, „Vzad“, „Vpravo“ a „Vlevo“. Pro analýzu celkové distance pohybu byla analyzována horizontální rovina osy X a osy Z. Pro herní zatížení byl evaluován veškerý naměřený pohyb sledovaného bodu ve všech třech osách X,Y,Z.

Tabulka 2: Celkový počet rozeher analyzovaného utkání.

Sety	Roze hry
Set 1 (n)	45
Set 2 (n)	41
Set 3 (n)	40
Set 4 (n)	41
Celkem (n)	167

85 % všech rozeher mělo trvání do 12,4 s a 95 % trvalo do 18 s (Tabulka 4; Obrázek 15). Průměrná délka trvání roze hry dosahovala $7,76 \pm 5,1$ s (Obrázek 16). Minimální čas analyzovaných rozeher dosáhl 1,8 s a maximální čas roze hry v naší práci dosáhl čas 35,7 s. Další deskripce časových údajů lze najít v Tabulce 3.

Hodnota „skew“ 1,85 dosáhla vysoké horizontální asymetrie pravděpodobný distribuce v pozitivním směru, která potvrzuje pravděpodobnost ne-normálního rozložení dat.

Tabulka 3: Deskriptivní statistika času rozeher analyzovaného utkání v sekundách.

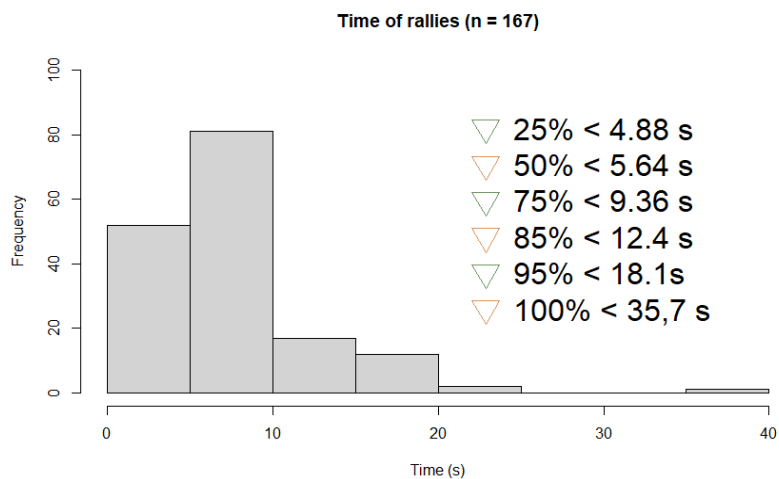
n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
167	7,67	5,06	5,64	6,92	2,55	1,76	35,68	33,92	1,87	5,17	0,39

Legenda: n = počet, mean = průměr, sd = směrodatná odchylka, trimmed = průměr oříznutý o nejvyšší a nejnižší hodnoty, mad = průměrná vzdálenost hodnot od průměru, min = minimum, max = maximum, range = rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou hodnotou, skew = velikost a směr odchylky od horizontální symetrie pravděpodobný distribuce, kurtosis = koeficient špičatosti, se = standardní chyba průměru.

Tabulka 4: Čas rozeher v kvantilech.

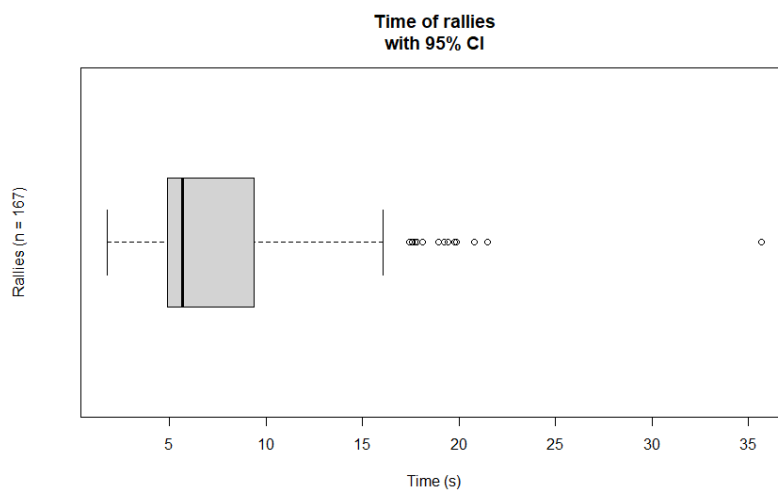
Čas rozeher (s)	Kvantily	Čas rozeher (s)	Kvantily	Čas rozeher (s)	Kvantily
4,88	0,25	9,36	0,75	18,024	0,95
5,64	0,50	12,424	0,85	35,68	1

Legenda: s = sekunda



Obrázek 15: Frekvence časového trvání n = 167 rozeher.

Legenda: Time = čas, (s) = sekunda, Frequency = frekvence výskytu, Time of rallies = čas rozeher, n = počet jednotek



Obrázek 16: Krabicový graf průměrného času rozeher dosáhl hodnotu $7,76 \pm 5,1$ s (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: Rallies = roze hry, Time = čas, Time of rallies with 95 % CI = čas rozeher s konfidenční hodnotou 95 %

5.1 Analýza horizontálního pohybu v ose X a Z

Deskriptivní statistika celkem 997 distancí evaluovala, že 85 % všech rozeher mělo plošnou distanci pohybu do 14,5 m a 95 % mělo distanci do 22,5 m (Tabulka 6; Obrázek 18). Průměrná hodnota distance pohybu v rozehrě na Obrázku 19 dosahovala $8,6 \pm 6,4$ m. Nejvyšší průměrnou distancí $9,6 \pm 7$ m a taky maximální distancí plošného pohybu 34,2 m dosáhl post Libero. Nejnižší průměrnou distancí pohybu v horizontální rovině dosáhli posty Blokař a Univerzál s hodnotou $8,6 \pm 5,7$ m. Libero participovalo v celkem 77,8 % rozehrách. Jeden blokař participoval v celkem 100 rozehrách (60 %) a druhý v celkem 101 rozehrách (60,4 %). Průměrná hodnota „skew“ 1,4 dosáhla vysoké horizontální asymetrie pravděpodobný distribuce v pozitivním směru, která potvrzuje ne-normální rozložení dat (Obrázek 20). Další deskripce distančních údajů lze najít v Tabulce 5.

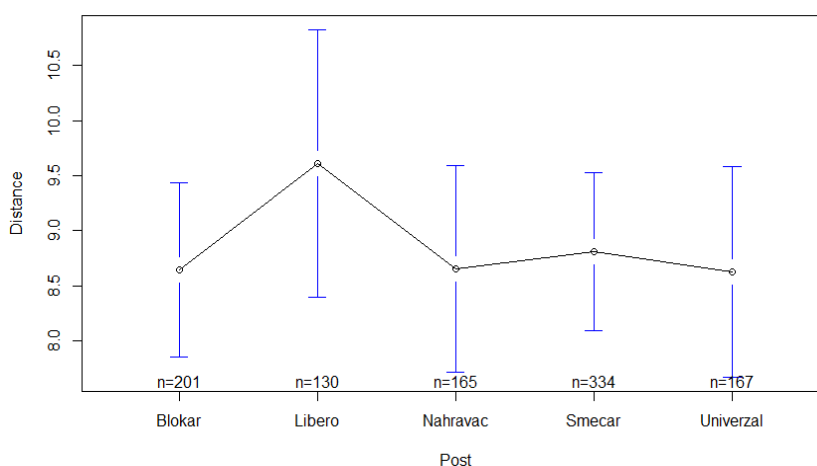
Tabulka 5: Deskriptivní statistika distance rozeher analyzovaného utkání v metrech.

Post	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
Libero	130	9,6	7,0	7,3	8,6	5,1	0,4	34,2	33,8	1,3	1,2	0,6
Nahrávač	167	8,7	6,1	6,9	7,7	4,6	0,7	32,4	31,6	1,5	2,0	0,5
Smečař	334	8,8	6,7	7,1	7,8	5,2	0,2	34,1	34,0	1,4	1,6	0,4
Blokař	201	8,6	5,7	7,8	8,0	4,9	0,1	30,6	30,4	1,1	1,3	0,4
Univerzál	167	8,6	6,3	6,8	7,7	4,6	0,2	32,5	32,3	1,4	2,1	0,5
Celkem	997	8,8	6,4	7,1	7,9	4,9	0,1	34,2	34,0	1,4	1,8	0,2

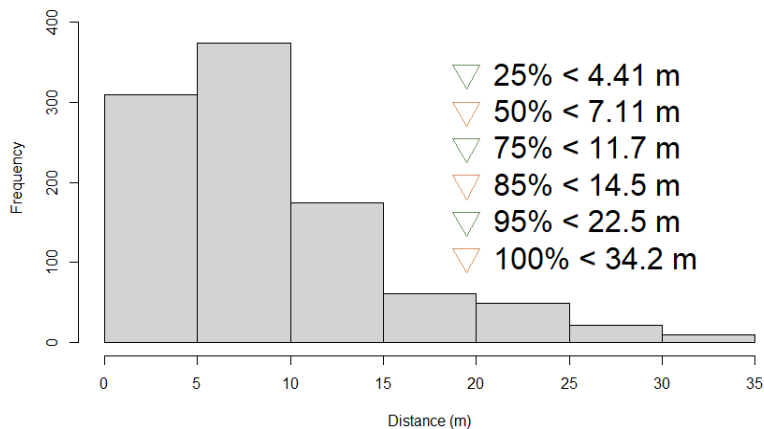
Legenda: n = počet, mean = průměr, sd = směrodatná odchylka, trimmed = průměr oříznutý o nejvyšší a nejnižší hodnoty, mad = průměrná vzdálenost hodnot od průměru, min = minimum, max = maximum, range = rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou hodnotou, skew = velikost a směr odchylky od horizontální symetrie pravděpodobný distribuce, kurtosis = koeficient špičatosti, se = standardní chyba průměru.

Tabulka 6: Distance (m) rozeher celého družstva v kvantilech.

Čas rozeher (s)	Kvantily	Čas rozeher (s)	Kvantily	Čas rozeher (s)	Kvantily
4,41	0,25	11,70	0,75	22,54	0,95
7,11	0,5	14,50	0,85	34,18	1

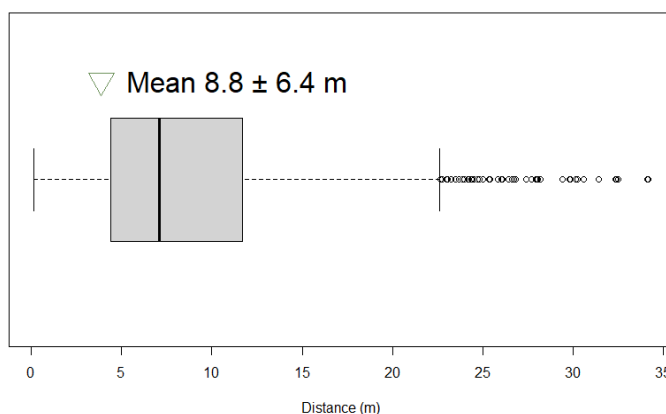


Obrázek 17: Průměrná hodnota celkových distancí pohybu všech herních postů (konfidenční hodnota 95 %).



Obrázek 18: Frekvence celkových distancí pohybu (n = 997).

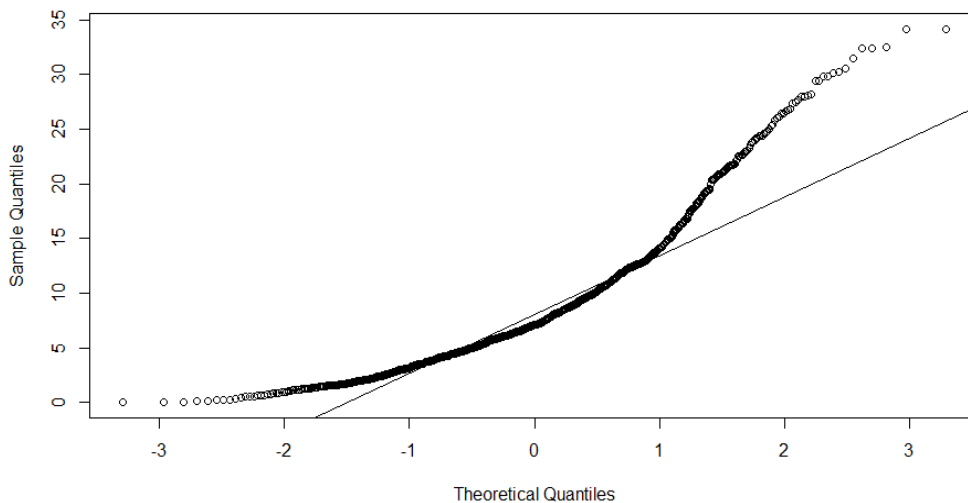
Legenda: (m) = metr, Frequency = frekvence výskytu.



Obrázek 19: Krabicový graf hodnot všech distancí pohybu v horizontální rovině dosáhla hodnotu $8,8 \pm 6,4$ m (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: Mean = průměr, Distance of rallies = distance v rozehrách, n = počet jednotek

Ověření normality rozložení dat bylo provedeno testem Shapiro-Wilk a dosáhly hodnoty $W = 0.89368$, $p = 1.233e-06$. Dále byla zvolena neparametrická analýza rozptylů.



Obrázek 20: Ne-lineární vzor rozložení dat distance pohybu.

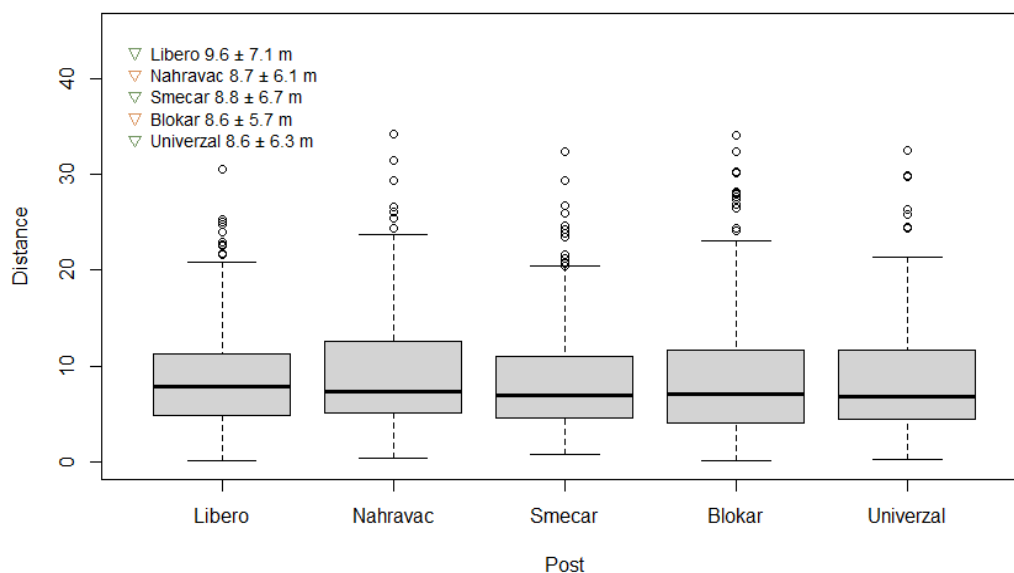
Legenda: Theoretical Quantiles = teoretické kvantily, Sample Quantiles = kvantily měřeného vzorku

Jednofaktorová neparametrická analýza rozptylu neprokázala sig. rozdíl mezi distancemi pohybu jednotlivých postů (Kruskal-Wallis chi-squared = 2.1122, df = 4, p = 0.7151). Výsledky vícenásobné komparace p hodnot (post-hoc metoda Bonferroni) jsou v Tabulce 7.

Tabulka 7: Dunn (1964) Kruskal-Wallis vícenásobná komparace p hodnot distancí pohybu mezi posty ve volejbalovém utkání (korekce metodou Bonferroni).

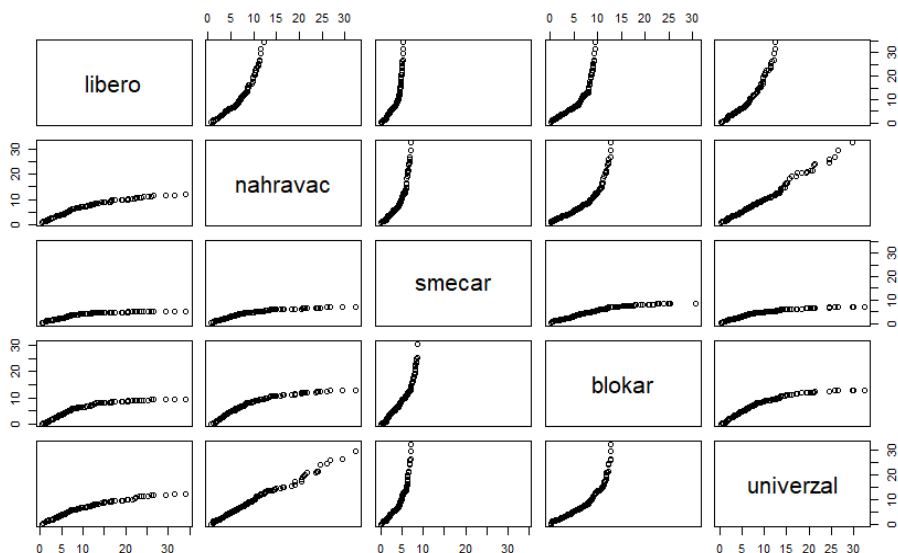
	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Blokar - Libero	-0.73841819	0.4602604	1
2	Blokar - Nahravac	-1.30910288	0.1904995	1
3	Libero - Nahravac	-0.61670056	0.5374323	1
4	Blokar - Smecar	-0.17392738	0.8619225	1
5	Libero - Smecar	0.46994674	0.6383931	1
6	Nahravac - Smecar	1.01283377	0.3111396	1
7	Blokar - Univerzal	-0.05688441	0.9546373	1
8	Libero - Univerzal	0.57807588	0.5632129	1
9	Nahravac - Univerzal	1.11092377	0.2666012	1
10	Smecar - Univerzal	0.10166195	0.9190250	1

Legenda: Comparison = komparace, Z = hodnoty Z-testu, P.unadj = neupravené hodnoty p, P.adj = upravené hodnoty p.



Obrázek 21: Krabicový graf hodnot celkových distancí pohybu všech herních postů (konfidenční hodnota 95 %).

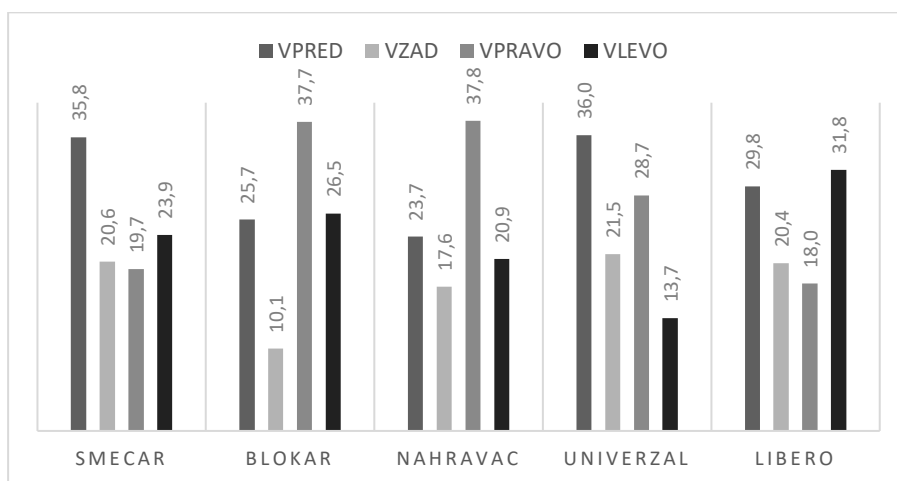
Legenda: Vlevo nahoře jsou zobrazeny průměrné hodnoty distance postů se směrodatnými odchylkami.



Obrázek 22: Graf párových korelací mezi jednotlivými posty.

5.1.1 Analýza směru pohybu

Pro deskripci dat jsme z expertního hlediska filtrovaly vzdálenost jednotlivých úseků pohybu ve třech rozsazích (0,7 m a více; 0 m až 0,7 m; 0 m a více). V prvním rozsahu od 0,7 m a více směrem Vpřed dosahovali hráči hodnot od 149,6 m pro post Blokař (60% participace v rozehrách) a nejvyšší hodnotu 369,3 m dosáhl post Smečař. Z hlediska neúplné participace ve všech rozehrách všech hráčů je vhodnější procentuální evaluace v Obrázku 23 a Tabulkách 8, 9 a 10 a sumarizaci lze najít v Tabulce 11. Nejvyšší poměr pohybu dosáhl post Smečař pro směr Vpřed (35,8 %), Blokař pro směr Vpravo (37,7 %), Nahrávač pro směr Vpravo (37,8 %), Univerzál pro směr Vpřed (36 %) a Libero pro směr Vlevo (31,8 %). Nejnižší poměr pohybu dosáhl post Smečař pro směr Vpravo (19,7 %), Blokař pro směr Vzad (10,1 %), Nahrávač pro směr Vzad (17,6 %), Univerzál pro směr Vlevo (13,7 %) a Libero pro směr Vpravo (18 %).



Obrázek 23: Frekvence (%) směru pohybu (od 0,7 m a více) pro jednotlivé herní posty.

Tabulka 8: Distance (m) a frekvence (%) směrů pohybu (od 0,7 m a více) pro jednotlivé herní specializace v horizontální rovině.

Rozmezí < 0,7 a více >		Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo	Celkem
Smečář (mean)	distance [m]	369,3	198,8	200,6	213,4	982,0
	frekvence [%]	35,8	20,6	19,7	23,9	
Blokař (mean)	distance [m]	149,6	51,4	216,3	149,3	566,7
	frekvence [%]	25,7	10,1	37,7	26,5	
Nahrávač	distance [m]	208,4	128,1	312,5	166,1	815,2
	frekvence [%]	23,7	17,6	37,8	20,9	
Univerzál	distance [m]	380,6	206,6	265,7	131,3	984,1
	frekvence [%]	36,0	21,5	28,7	13,7	
Libero	distance [m]	260,1	157,3	132,0	248,6	798,1
	frekvence [%]	29,8	20,4	18,0	31,8	

Legenda: m = metr, mean = průměr

Nejvyšší poměr pohybu v druhém rozsahu od 0 m a více směrem Vpřed dosahoval post Smečář pro směr Vpřed (29,4 %), Blokař pro směr Vpravo (32,2 %), Nahrávač pro směr Vpravo (39,1 %), Univerzál pro směr Vpřed (31 %) a Libero pro směr Vlevo (33,4 %). Nejnižší poměr pohybu dosáhl post Smečář pro směr Vpravo (18 %), Blokař pro směr Vzad (12,7 %), Nahrávač pro směr Vlevo (19,9 %), Univerzál pro směr Vlevo (16,7 %) a Libero pro směr Vpravo (18,2 %).

Tabulka 9: Distance (m) a frekvence (%) směrů pohybu (od 0 m a více) pro jednotlivé herní specializace v horizontální rovině.

Rozmezí < 0 a více >		Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo	Celkem
Smečář (mean)	distance [m]	528,1	379,9	317,1	423,5	1648,7
	frekvence [%]	29,4	23,6	18,0	28,9	
Blokař (mean)	distance [m]	252,1	102,5	342,5	285,8	964,6
	frekvence [%]	27,0	12,7	32,2	27,8	
Nahrávač	distance [m]	340,5	270,2	608,0	286,8	1505,5
	frekvence [%]	20,2	20,7	39,1	19,9	
Univerzál	distance [m]	546,4	345,0	464,8	229,5	1585,7
	frekvence [%]	31,0	22,1	30,2	16,7	
Libero	distance [m]	399,1	290,3	246,9	440,6	1376,8
	frekvence [%]	25,4	23,0	18,2	33,4	

Legenda: m = metr, mean = průměr

Nejvyšší poměr pohybu v třetím rozsahu od 0 m do 0,7 m Vpřed dosahoval post Smečář pro směr Vlevo (30,1 %), Blokař pro směr Vpravo (31,6 %), Nahrávač pro směr Vpravo (39,4 %), Univerzál pro směr Vpravo (30,5 %) a Libero pro směr Vlevo (33,7 %).

Tabulka 10: Distance (m) a frekvence (%) směrů pohybu (od 0 m do 0,7 m) pro jednotlivé herní specializace v horizontální rovině.

Rozmezí < 0 - 0,7 >		Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo	Celkem
Smečář (mean)	distance [m]	173,9	150,3	107,4	205,5	637,1
	frekvence [%]	28,4	23,8	17,8	30,1	
Blokař (mean)	distance [m]	96,4	42,5	141,0	113,2	393,1
	frekvence [%]	27,1	13,9	31,6	27,5	
Nahrávač	distance [m]	132,1	142,0	295,5	120,7	690,4
	frekvence [%]	19,7	21,2	39,4	19,8	
Univerzál	distance [m]	165,8	138,4	199,2	98,2	601,6
	frekvence [%]	29,9	22,3	30,5	17,3	
Libero	distance [m]	138,9	133,0	114,8	192,0	578,7
	frekvence [%]	24,6	23,5	18,2	33,7	

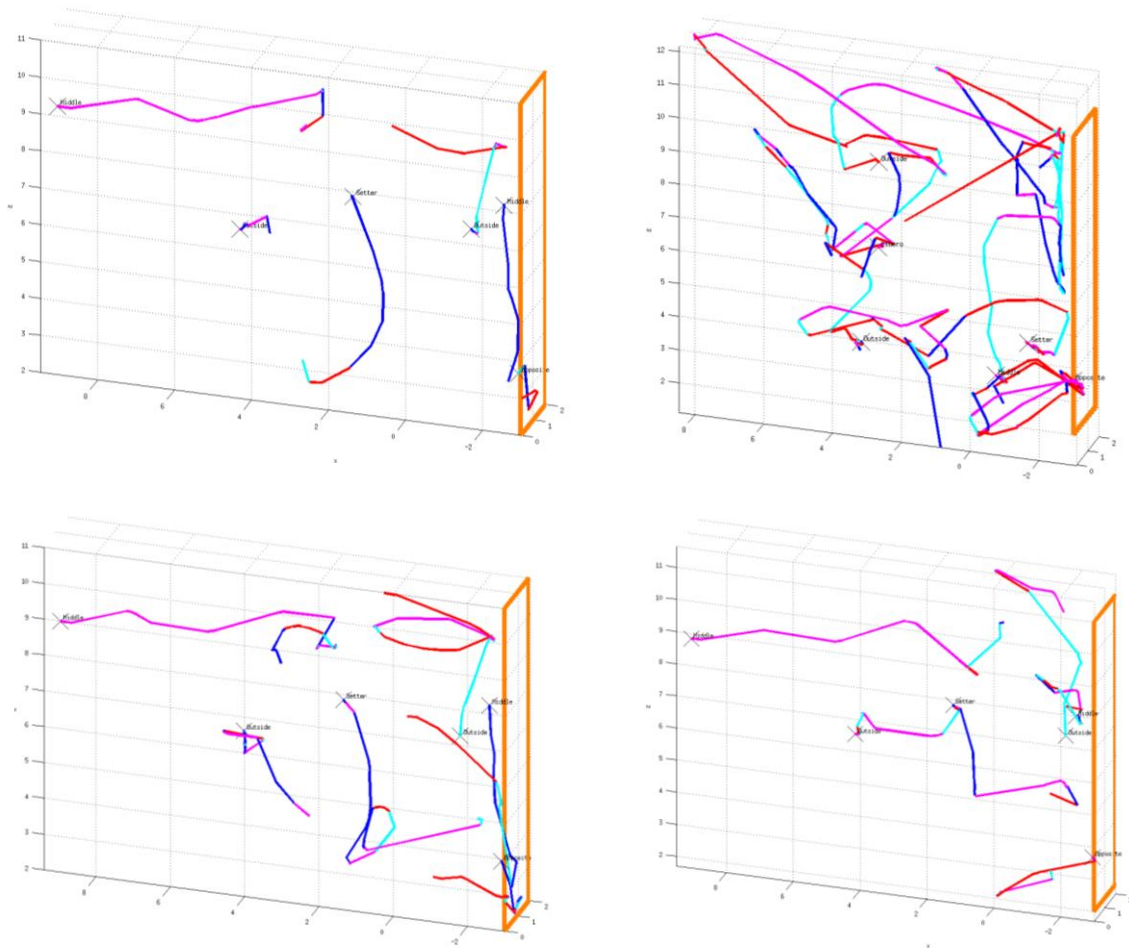
Legenda: m = metr, mean = průměr

V rozsahu 0 m až 0,7 m dosáhl post Smečář 60,5 % z celkové distance pohybu. U Blokaře to bylo 59,8 %, Nahrávač dosáhl 54,1 %, Univerzál dosáhl 62,1 % a Libero 57,9 %.

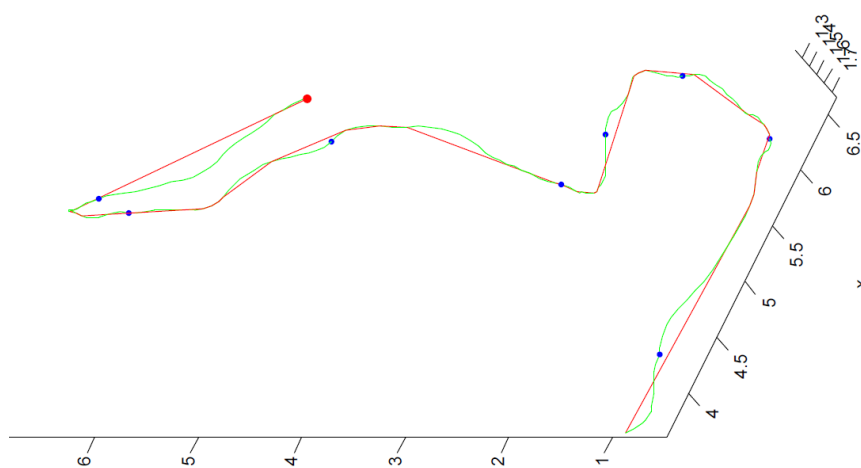
Tabulka 11: Deskriptivní sumarizace frekvence (%) směrů pohybu pro jednotlivé herní posty v horizontální rovině mezi analyzovanými rozsahy.

	Vpřed (%)	Vzad (%)	Vpravo (%)	Vlevo (%)	Celkem (m)
Smečář					
Rozmezí < 0,7 m - Inf >	35,8 ^{max}	20,6	19,7	23,9	982,0
Rozmezí < 0 m - Inf >	29,9 ^{max}	21,0	20,0	29,1	1622,5
Rozmezí < 0 m - 0,7 m >	28,8	21,0	20,0	30,1 ^{max}	640,5 (60,5 %)
Blokař					
Rozmezí < 0,7 m - Inf >	25,7	10,1	37,7 ^{max}	26,5	566,7
Rozmezí < 0 m - Inf >	25,9	12,9	34,3 ^{max}	26,9	947,7
Rozmezí < 0 m - 0,7 m >	26,0	13,4	33,6 ^{max}	27,0	381,1 (59,8 %)
Nahrávač					
Rozmezí < 0,7 m - Inf >	23,7	17,6	37,8 ^{max}	20,9	815,2
Rozmezí < 0 m - Inf >	20,2	20,7	39,1 ^{max}	19,9	1505,5
Rozmezí < 0 m - 0,7 m >	19,7	21,2	39,4 ^{max}	19,8	690,4 (54,1 %)
Univerzál					
Rozmezí < 0,7 m - Inf >	36,0 ^{max}	21,5	28,7	13,7	984,1
Rozmezí < 0 m - Inf >	31,0 ^{max}	22,1	30,2	16,7	1585,7
Rozmezí < 0 m - 0,7 m >	29,9	22,3	30,5 ^{max}	17,3	601,6 (62,1 %)
Libero					
Rozmezí < 0,7 m - Inf >	29,8	20,4	18,0	31,8 ^{max}	798,1
Rozmezí < 0 m - Inf >	25,4	23,0	18,2	33,4 ^{max}	1376,8
Rozmezí < 0 m - 0,7 m >	24,6	23,5	18,2	33,7 ^{max}	578,7 (57,9 %)

Legenda: Inf = nekonečno, m = metr



Obrázek 24: Grafická vizualizace pohybu hráček v různých rozehrách volejbalového utkání ve všech třech rovinách X,Y,Z.
Legenda: Barvy – Fialová = Vpřed, Červená = Vzad, Modrá = Vpravo, Tyrkysová = Vlevo



Obrázek 25: Vyhlazení trajektorie hráčky pomocí softwaru Matlab (© 1994-2015 The MathWorks, Inc.); trajektorie pohybu hráčky má začátek v červeném bodě, modré body znázorňují sekundový značky.

5.2 Analýza rychlosti pohybu

V Tabulkách 12 až 18 jsou znázorněny výsledky analýzy rychlosti a zrychlení všech čtyřech směrů pohybu pro všechny posty v kvantilech. Hráči dosahovali q50 hodnoty rychlost od 1,32 m/s směrem Vzad u postů Blokař a Nahrávač až po maximální rychlost v q50 pro post Nahrávač s hodnotou 2,09 m/s. Nejvyšší q50 hodnotu pohybu Vzad dosáhl post Libero s 1,56 m/s. Ve směru Vpravo dominoval post Smečář s 1,66 m/s a Vlevo byl dominantní post Blokař s 1,67 m/s. Maximální rychlosti q100 dosáhl post Libero směrem Vpřed s 7,64 m/s a směrem Vzad s 7,33 m/s. Univerzál dosáhl maximální rychlosti mezi posty směrem Vpravo s 4,36 m/s a post Smečář dosáhl maximální rychlosti q100 ve směru Vlevo s 3,17 m/s.

Tabulka 12: Kvantily rychlosti pohybu q50 a q100 všech postů a směrů pohybu.

	Kvantil	Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo
Smečář - Rychlost [m/s]	q50	1,95	1,47	1,66^{max}	1,49
Blokař - Rychlost [m/s]	q50	2,08	1,32	1,52	1,67^{max}
Nahrávač - Rychlost [m/s]	q50	2,09^{max}	1,32	1,49	1,35
Univerzál - Rychlost [m/s]	q50	1,85	1,58	1,38	1,49
Libero - Rychlost [m/s]	q50	1,74	1,56^{max}	1,55	1,64
Smečář - Rychlost [m/s]	q100	4,44	2,49	3,22	3,17^{max}
Blokař - Rychlost [m/s]	q100	3,01	3,11	4,14	2,92
Nahrávač - Rychlost [m/s]	q100	2,76	2,74	3,22	3,07
Univerzál - Rychlost [m/s]	q100	4,16	3,11	4,36^{max}	2,87
Libero - Rychlost [m/s]	q100	7,64^{max}	7,33^{max}	4,25	3,15

Legenda: m = metr, s = sekunda, q = kvantil

Nejvyššího zrychlení v q50 dosáhl směrem Vpřed post Smečář s 3,85 m/s², směrem Vzad to byl post Libero s 1,99 m/s², směrem Vpravo to byl post Libero s 2,58 m/s² a směrem Vlevo to byl post Blokař s 3,09 m/s². Maximální zrychlení dosáhl post Smečář směrem Vpřed s 27,7 m/s², Vzad Libero s 22,9 m/s², Vpravo a Vlevo Blokař s 20,7 m/s² a 10,4 m/s².

Tabulka 13: Kvantily zrychlení pohybu q50 a q100 všech postů a směrů pohybu.

	Kvantil	Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo
Smečář - Zrychlení [m/(s ²)]	q50	3,69	1,72	1,97	2,16
Blokař - Zrychlení [m/(s ²)]	q50	3,85^{max}	1,59	2,47	3,09^{max}
Nahrávač - Zrychlení [m/(s ²)]	q50	3,20	1,68	2,04	1,79
Univerzál - Zrychlení [m/(s ²)]	q50	2,55	1,85	1,70	1,77
Libero - Zrychlení [m/(s ²)]	q50	2,58	1,99^{max}	2,58^{max}	2,42
Smečář - Zrychlení [m/(s ²)]	q100	27,74^{max}	6,22	7,22	7,21
Blokař - Zrychlení [m/(s ²)]	q100	10,75	8,65	20,72^{max}	10,44^{max}
Nahrávač - Zrychlení [m/(s ²)]	q100	8,43	6,22	9,45	8,66
Univerzál - Zrychlení [m/(s ²)]	q100	14,85	8,64	7,89	8,05
Libero - Zrychlení [m/(s ²)]	q100	12,82	22,92^{max}	12,52	9,77

Legenda: m = metr, s² = kvadrát sekundy, q = kvantil

Tabulka 14: Kvantily rychlosti a zrychlení postu Smečář v analyzovaném utkání.

	Kvantil	Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo
Rychlost [m/s]	q0	0,94	0,37	0,39	0,49
Rychlost [m/s]	q10	1,21	0,58	0,77	0,63
Rychlost [m/s]	q20	1,43	0,95	1,02	1,00
Rychlost [m/s]	q30	1,60	1,15	1,19	1,20
Rychlost [m/s]	q40	1,81	1,28	1,43	1,38
Rychlost [m/s]	q50	1,95	1,47	1,66	1,49
Rychlost [m/s]	q60	2,21	1,70	1,83	1,66
Rychlost [m/s]	q70	2,45	1,85	1,97	1,82
Rychlost [m/s]	q80	2,65	1,94	2,16	1,95
Rychlost [m/s]	q90	2,86	2,11	2,31	2,09
Rychlost [m/s]	q100	4,44	2,49	3,22	3,17
Zrychlení [m/(s ²)]	q0	0,53	0,19	0,19	0,28
Zrychlení [m/(s ²)]	q10	1,25	0,39	0,56	0,41
Zrychlení [m/(s ²)]	q20	1,94	0,93	0,96	1,01
Zrychlení [m/(s ²)]	q30	2,64	1,26	1,22	1,40
Zrychlení [m/(s ²)]	q40	2,92	1,43	1,62	1,68
Zrychlení [m/(s ²)]	q50	3,69	1,72	1,97	2,16
Zrychlení [m/(s ²)]	q60	4,70	1,99	2,27	2,67
Zrychlení [m/(s ²)]	q70	5,53	2,37	3,30	3,27
Zrychlení [m/(s ²)]	q80	6,26	3,27	4,02	3,65
Zrychlení [m/(s ²)]	q90	7,68	4,18	5,04	4,20
Zrychlení [m/(s ²)]	q100	27,74	6,22	7,22	7,21

Legenda: m = metr, s = sekunda, s² = kvadrát sekundy, q = kvantil

Tabulka 15: Kvantily rychlosti a zrychlení postu Blokař v analyzovaném utkání.

	Kvantil	Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo
Rychlost [m/s]	q0	0,74	0,52	0,33	0,30
Rychlost [m/s]	q10	1,17	0,52	0,71	0,65
Rychlost [m/s]	q20	1,50	0,87	0,91	1,30
Rychlost [m/s]	q30	1,72	1,05	1,15	1,45
Rychlost [m/s]	q40	1,96	1,25	1,35	1,55
Rychlost [m/s]	q50	2,08	1,32	1,52	1,67
Rychlost [m/s]	q60	2,21	1,37	2,01	1,77
Rychlost [m/s]	q70	2,31	1,68	2,34	1,92
Rychlost [m/s]	q80	2,42	1,99	2,63	2,16
Rychlost [m/s]	q90	2,61	2,09	2,95	2,35
Rychlost [m/s]	q100	3,01	3,11	4,14	2,92
Zrychlení [m/(s ²)]	q0	0,69	0,22	0,09	0,11
Zrychlení [m/(s ²)]	q10	1,29	0,38	0,38	0,41
Zrychlení [m/(s ²)]	q20	1,62	0,73	0,89	1,37
Zrychlení [m/(s ²)]	q30	2,51	1,05	1,45	1,91
Zrychlení [m/(s ²)]	q40	3,17	1,38	1,69	2,66
Zrychlení [m/(s ²)]	q50	3,85	1,59	2,47	3,09
Zrychlení [m/(s ²)]	q60	4,71	2,01	2,80	3,39
Zrychlení [m/(s ²)]	q70	5,39	2,24	4,38	4,07
Zrychlení [m/(s ²)]	q80	5,64	2,47	7,15	4,20
Zrychlení [m/(s ²)]	q90	6,28	5,55	9,30	5,33
Zrychlení [m/(s ²)]	q100	10,75	8,65	20,72	10,44

Legenda: m = metr, s = sekunda, s² = kvadrát sekundy, q = kvantil

Tabulka 16: Kvantily rychlosti a zrychlení postu Nahrávač v analyzovaném utkání

	Kvantil	Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo
Rychlost [m/s]	q0	0,54	0,49	0,60	0,62
Rychlost [m/s]	q10	1,12	0,77	0,89	0,90
Rychlost [m/s]	q20	1,38	0,94	1,21	0,98
Rychlost [m/s]	q30	1,63	1,06	1,31	1,06
Rychlost [m/s]	q40	1,78	1,19	1,39	1,20
Rychlost [m/s]	q50	2,09	1,32	1,49	1,35
Rychlost [m/s]	q60	2,19	1,41	1,64	1,53
Rychlost [m/s]	q70	2,31	1,52	1,81	1,65
Rychlost [m/s]	q80	2,42	1,65	1,93	1,76
Rychlost [m/s]	q90	2,61	1,90	2,40	2,41
Rychlost [m/s]	q100	2,76	2,74	3,22	3,07
Zrychlení [m/(s ²)]	q0	0,29	0,33	0,35	0,53
Zrychlení [m/(s ²)]	q10	1,04	0,69	0,89	0,75
Zrychlení [m/(s ²)]	q20	1,92	0,93	1,20	1,03
Zrychlení [m/(s ²)]	q30	2,18	1,16	1,51	1,26
Zrychlení [m/(s ²)]	q40	2,47	1,33	1,78	1,40
Zrychlení [m/(s ²)]	q50	3,20	1,68	2,04	1,79
Zrychlení [m/(s ²)]	q60	3,34	1,78	2,33	2,12
Zrychlení [m/(s ²)]	q70	3,70	2,20	2,74	2,46
Zrychlení [m/(s ²)]	q80	4,67	2,61	3,33	3,06
Zrychlení [m/(s ²)]	q90	5,54	3,73	4,66	3,95
Zrychlení [m/(s ²)]	q100	8,43	6,22	9,45	8,66

Legenda: m = metr, s = sekunda, s² = kvadrát sekundy, q = kvantil

Tabulka 17: Kvantily rychlosti a zrychlení postu Univerzál v analyzovaném utkání

	Kvantil	Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo
Rychlost [m/s]	q0	0,37	0,60	0,42	0,36
Rychlost [m/s]	q10	1,04	0,98	0,70	0,64
Rychlost [m/s]	q20	1,34	1,26	0,84	0,96
Rychlost [m/s]	q30	1,51	1,36	1,14	1,21
Rychlost [m/s]	q40	1,72	1,43	1,27	1,32
Rychlost [m/s]	q50	1,85	1,58	1,38	1,49
Rychlost [m/s]	q60	2,06	1,62	1,56	1,63
Rychlost [m/s]	q70	2,17	1,65	1,72	1,75
Rychlost [m/s]	q80	2,40	1,82	1,80	2,03
Rychlost [m/s]	q90	2,60	1,97	2,04	2,42
Rychlost [m/s]	q100	4,16	3,11	4,36	2,87
Zrychlení [m/(s ²)]	q0	0,15	0,47	0,18	0,12
Zrychlení [m/(s ²)]	q10	1,05	0,86	0,42	0,29
Zrychlení [m/(s ²)]	q20	1,45	1,03	0,79	0,85
Zrychlení [m/(s ²)]	q30	1,69	1,51	1,20	1,16
Zrychlení [m/(s ²)]	q40	2,11	1,70	1,48	1,35
Zrychlení [m/(s ²)]	q50	2,55	1,85	1,70	1,77
Zrychlení [m/(s ²)]	q60	3,30	2,07	1,93	2,17
Zrychlení [m/(s ²)]	q70	3,78	2,32	2,29	2,67
Zrychlení [m/(s ²)]	q80	5,41	2,66	3,25	3,14
Zrychlení [m/(s ²)]	q90	6,07	3,31	4,52	3,81
Zrychlení [m/(s ²)]	q100	14,85	8,64	7,89	8,05

Legenda: m = metr, s = sekunda, s² = kvadrát sekundy, q = kvantil

Tabulka 18: Kvantily rychlosti a zrychlení postu Libero v analyzovaném utkání

	Kvantil	Vpřed	Vzad	Vpravo	Vlevo
Rychlost [m/s]	q0	0,64	0,57	0,70	0,62
Rychlost [m/s]	q10	1,03	0,79	0,92	0,79
Rychlost [m/s]	q20	1,24	0,98	1,16	0,98
Rychlost [m/s]	q30	1,36	1,08	1,29	1,20
Rychlost [m/s]	q40	1,49	1,29	1,45	1,41
Rychlost [m/s]	q50	1,74	1,56	1,55	1,64
Rychlost [m/s]	q60	1,92	1,73	1,75	1,84
Rychlost [m/s]	q70	2,16	1,92	1,96	2,01
Rychlost [m/s]	q80	2,43	2,28	2,06	2,16
Rychlost [m/s]	q90	2,72	3,06	2,37	2,48
Rychlost [m/s]	q100	7,64	7,33	4,25	3,15
Zrychlení [m/(s ²)]	q0	0,29	0,35	0,44	0,27
Zrychlení [m/(s ²)]	q10	0,86	0,72	0,88	0,59
Zrychlení [m/(s ²)]	q20	1,41	0,86	1,28	0,98
Zrychlení [m/(s ²)]	q30	1,75	1,23	1,58	1,27
Zrychlení [m/(s ²)]	q40	1,88	1,50	2,10	1,93
Zrychlení [m/(s ²)]	q50	2,58	1,99	2,58	2,42
Zrychlení [m/(s ²)]	q60	3,02	2,84	3,04	3,26
Zrychlení [m/(s ²)]	q70	3,76	3,69	3,63	3,63
Zrychlení [m/(s ²)]	q80	4,55	4,53	4,06	4,53
Zrychlení [m/(s ²)]	q90	5,71	6,05	5,34	5,47
Zrychlení [m/(s ²)]	q100	12,82	22,92	12,52	9,77

Legenda: m = metr, s = sekunda, s² = kvadrát sekundy, q = kvantil

5.3 Analýza herního zatížení

5.3.1 Celkové herní zatížení ve všech třech rovinách X, Y, Z

Deskriptivní statistika celkem 1000 distancí evaluovala, že 85 % všech rozeher mělo HZ_{Full} do 417,5 a 95 % mělo HZ do 654,1 (Tabulka 19; Obrázek 30). Průměrná hodnota celkového HZ v Tabulce 20 dosahovala pro rozeheru $252,2 \pm 188,9$ s hodnotou mediánu 200,5. Nejvyšší průměrné HZ_{Full} dosáhl post Libero s hodnotou $294,5 \pm 212,5$. Nejnižší průměrnou hodnotu HZ_{Full} dosáhl post Univerzál s $228,5 \pm 178,4$. Průměrná hodnota „skew“ 1,7 dosáhla vysoké horizontální asymetrie pravděpodobný distribuce v pozitivním směru, která potvrzuje ne-normální rozložení dat (Obrázek 27). Další deskripce distančních údajů lze najít v Tabulce 20.

Tabulka 19: Herní zatížení rozeher v kvantilech.

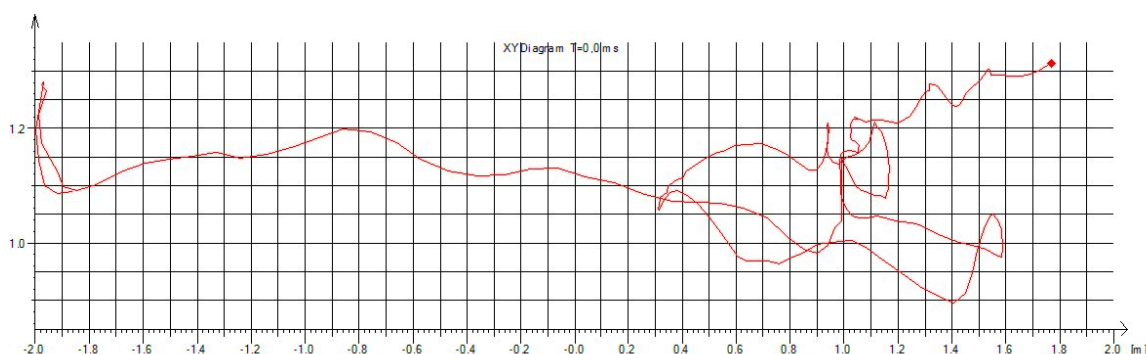
HZ rozeher	Kvantily	HZ rozeher	Kvantily	HZ rozeher	Kvantily
129,055	0,25	317,29	0,75	654,1	0,95
200,49	0,50	417,54	0,85	1157,11	1

Legenda: HZ = herní zatížení

Tabulka 20: Deskriptivní statistika herního zatížení jednotlivých postů v rozehrách analyzovaného utkání.

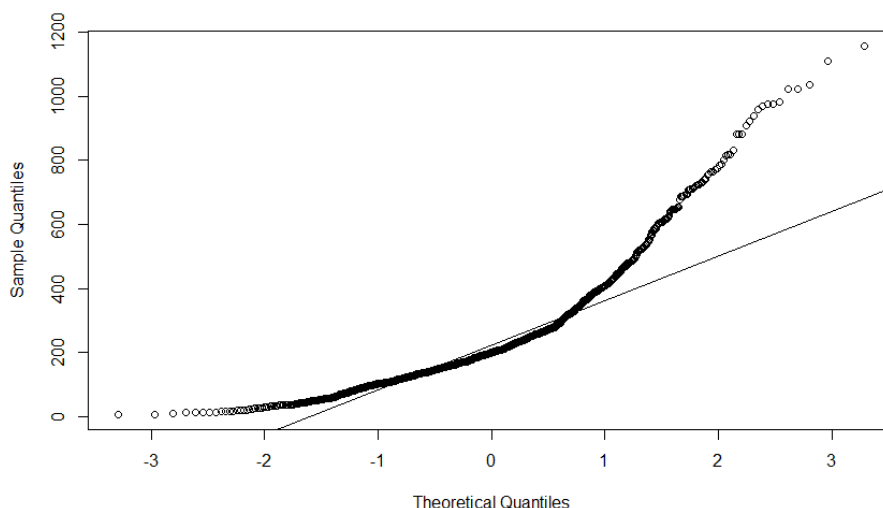
Post	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
Libero	131	294,5	212,5	215,6	265,4	132,8	11,8	1034,9	1023,1	1,3	1,2	18,6
Nahrávač	165	230,9*	164,5	189,3	206,8	122,0	15,0	976,7	961,7	1,6	3,1	12,8
Smečař	334	252,4	196,2	192,8	221,0	125,9	6,6	1157,1	1150,6	1,7	3,1	10,7
Blokař	203	261,1	183,7	220,6	234,7	104,2	9,0	1109,8	1100,8	1,7	3,5	12,9
Univerzál	167	228,5*	178,4	165,5	200,3	108,8	13,8	1021,9	1008,0	1,9	4,3	13,8
Celkem	1000	252,2	188,9	200,5	222,6	122,7	6,6	1157,1	1150,6	1,7	3,1	6,0

Legenda: n = počet, $mean$ = průměr, sd = směrodatná odchylka, $trimmed$ = průměr oříznutý o nejvyšší a nejnižší hodnoty, mad = průměrná vzdálenost hodnot od průměru, min = minimum, max = maximum, $range$ = rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou hodnotou, $skew$ = velikost a směr odchylky od horizontální symetrie pravděpodobný distribuce, $kurtosis$ = koeficient špičatosti, se = standardní chyba průměru. * = sig. významný rozdíl ($p < 0,05$)



Obrázek 26: Příklad – Diagram pohybu postu Nahrávač v horizontální rovině X, Z v metrech znázorněný softwarem Tema Biomechanics 2.3.

Ověření normality rozložení dat bylo provedeno testem Shapiro-Wilk a dosáhly hodnoty $W = 0.89368$, $p = 1.233e-06$. Test homogenity rozptylu dosáhl výsledky „Bartlett's K-squared“ = 5.5907, $df = 4$, $p = 0.2319$. Dále byla zvolena neparametrická analýza rozptylů.



Obrázek 27: Ne-lineární vzor rozložení dat distance pohybu.

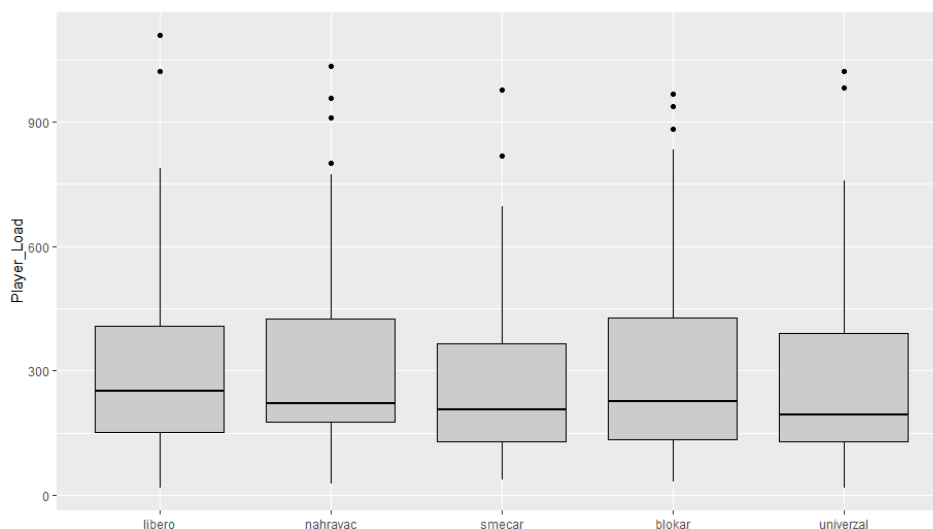
Legenda: *Theoretical Quantiles* = teoretické kvantily, *Sample Quantiles* = kvantily měřeného vzorku

Jednofaktorová neparametrická analýza rozptylu prokázala sig. rozdíl mezi celkovým herním zatížením pohybu jednotlivých postů (Kruskal-Wallis chi-squared = 14.897, $df = 4$, $p = 0.004919$). Výsledky vícenásobné komparace p hodnot (post-hoc metoda Bonferroni) jsou v Tabulce 21 a naznačují statisticky významnou rozdílnost mezi HZ_{Full} postů Nahrávač a Univerzál ($p < 0,05$).

Tabulka 21: Dunn (1964) Kruskal-Wallis vícenásobná komparace p hodnot celkového herního zatížení ve všech rovinách mezi posty ve volejbalovém utkání (korekce metodou Bonferroni).

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Blokar - Libero	-1.6162017	0.106050719	1.00000000
2	Blokar - Nahravac	-2.3748422	0.017556452	0.17556452
3	Libero - Nahravac	-0.9011250	0.367521881	1.00000000
4	Blokar - Smecar	0.6534632	0.513457710	1.00000000
5	Libero - Smecar	1.9654608	0.049360927	0.49360927
6	Nahravac - Smecar	2.6234670	0.008703987	0.08703987
7	Blokar - Univerzal	1.4194849	0.155757691	1.00000000
8	Libero - Univerzal	2.6645136	0.007709976	0.07709976
9	Nahravac - Univerzal	3.2503417	0.001152664	0.01152664
10	Smecar - Univerzal	0.6591180	0.509819977	1.00000000

Legenda: *Comparison* = komparace, *Z* = hodnoty Z-testu, *P.unadj* = neupravené hodnoty p , *P.adj* = upravené hodnoty p .



Obrázek 28: Krabicový graf hodnot herního zatížení jednotlivých postů (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: Player Load = Herní zatížení hráče

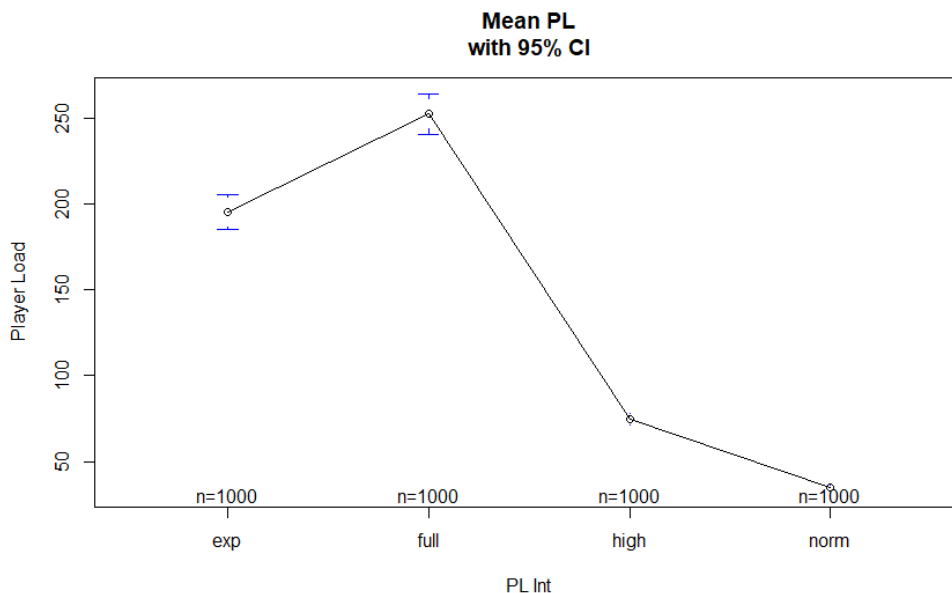
Explozivní herní zatížení dosáhlo průměrnou hodnotu $195,1 \pm 162,8$ s maximální hodnotou v rozehrách do 1002,3. Střední herní zatížení v zrychlení od 0 do 2 m/s^2 mělo nejnižší průměrnou hodnotu $34,7 \pm 26,6$. Vysoké herní zatížení v zrychlení od 2 do $3,5 \text{ m/s}^2$ dosáhlo průměrnou hodnotu $74,5 \pm 52$. Maximální hodnoty HZ_{Norm} a HZ_{High} dosáhli v rozehrách 258,2 a 269,4. Další údaje lze najít v Tabulce 22.

Explozivní HZ (pohyb se zrychlením nad $3,5 \text{ m/s}^2$) tvořilo 77,4 % z celkového HZ.

Tabulka 22: Deskriptivní statistika herního zatížení jednotlivých intenzit v rozehrách analyzovaného utkání.

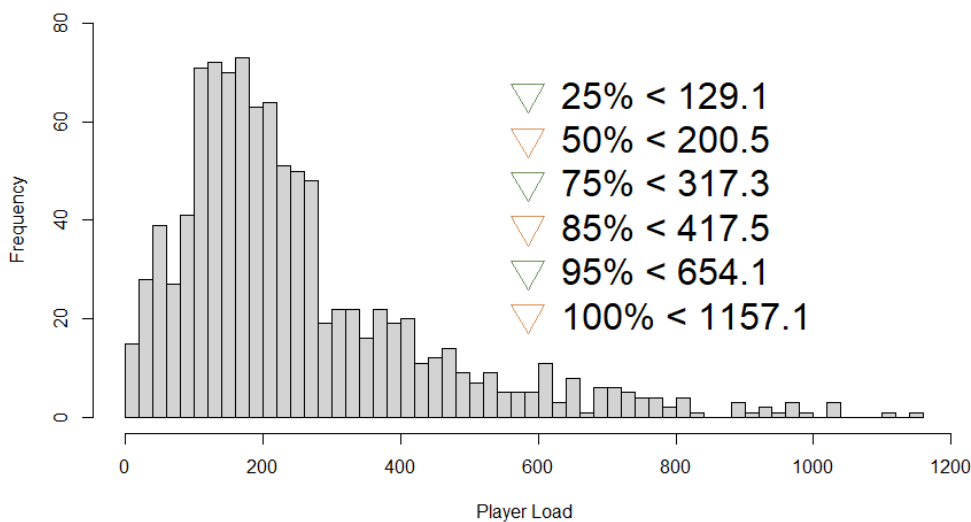
Post	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
HZ_{Full}	1000	252,2	188,9	200,5	222,6	122,7	6,6	1157,1	1150,6	1,7	3,1	6,0
HZ_{Exp}	1000	195,1	162,8	150,0	168,3	111,1	3,0	1005,3	1002,3	1,8	3,8	5,1
HZ_{High}	1000	74,5	52,0	60,2	67,0	41,3	2,7	272,1	269,4	1,3	1,3	1,6
HZ_{Norm}	1000	34,7	26,6	28,3	30,6	16,3	3,0	261,1	258,2	3,4	20,1	0,8

Legenda: n = počet, mean = průměr, sd = směrodatná odchylka, trimmed = průměr oříznutý o nejvyšší a nejnižší hodnoty, mad = průměrná vzdálenost hodnot od průměru, min = minimum, max = maximum, range = rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou hodnotou, skew = velikost a směr odchylky od horizontální symetrie pravděpodobný distribuce, kurtosis = koeficient špicatosti, se = standardní chyba průměru, HZ_{full} = celkové herní zatížení, HZ_{exp} = explozivní herní zatížení, HZ_{high} = vysoké herní zatížení, HZ_{norm} = střední herní zatížení.



Obrázek 29: Průměrná hodnota intenzit herního zatížení (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: Player Load = herní zatížení hráče, PL Int = Intenzita herního zatížení, Mean PL with 95 % CI = průměr herního zatížení rozeher s konfidenční hodnotou 95 %, full = celkové herní zatížení, exp = explozivní herní zatížení, high = vysoké herní zatížení, norm = střední herní zatížení



Obrázek 30: Frekvence celkového herního zatížení spolu s kvantily (n = 1000).

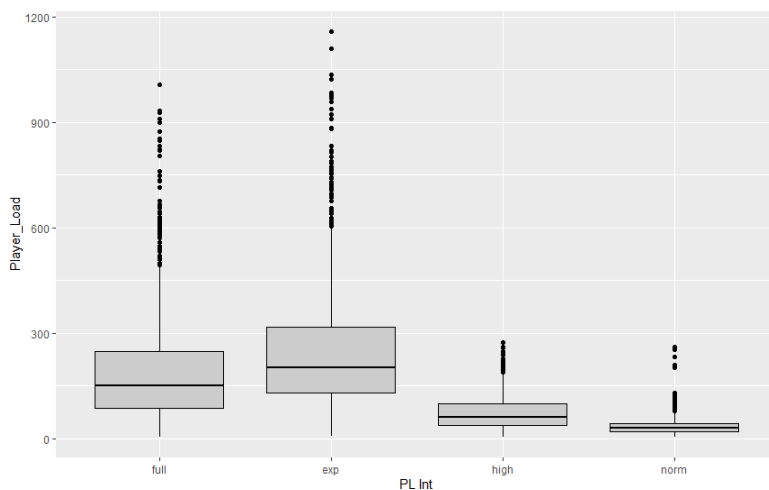
Legenda: Frequency = frekvence výskytu, Player Load = herní zatížení hráče.

Jednofaktorová neparametrická analýza rozptylu prokázala sig. rozdíl mezi intenzitami herního zatížení pohybu (Kruskal-Wallis chi-squared = 2057.8, df = 3, $p < 2.2e-16$). Výsledky vícenásobné komparace p hodnot (post-hoc metoda Bonferroni) jsou v Tabulce 23 a naznačují statisticky významnou rozdílnost mezi všemi intenzitami herního zatížení ($p < 0,05$).

Tabulka 23: Dunn (1964) Kruskal-Wallis vícenásobná komparace p hodnot intenzit HZ ve volejbalovém utkání (korekce metodou Bonferroni).

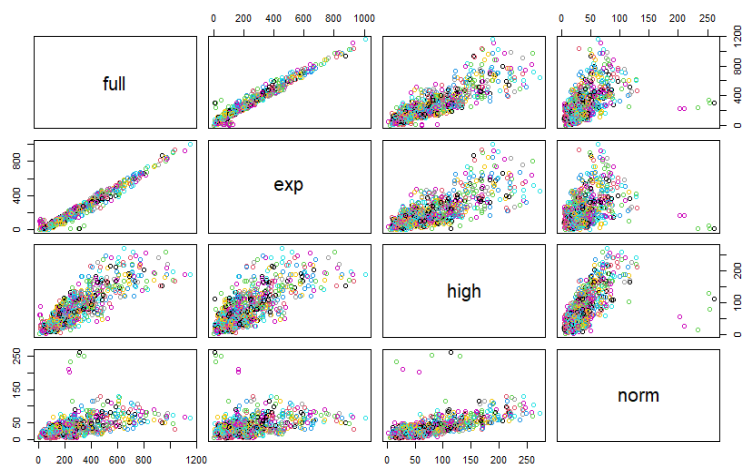
Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1 exp - full	6.768451	1.301682e-11	7.810092e-11
2 exp - high	25.673693	2.299762e-145	1.379857e-144
3 full - high	18.905242	1.032647e-79	6.195883e-79
4 exp - norm	40.809357	0.000000e+00	0.000000e+00
5 full - norm	34.040906	5.533163e-254	3.319898e-253
6 high - norm	15.135664	9.422493e-52	5.653496e-51

Legenda: Comparison = komparace, Z = hodnoty Z-testu, P.unadj = neupravené hodnoty p, P.adj = upravené hodnoty p.



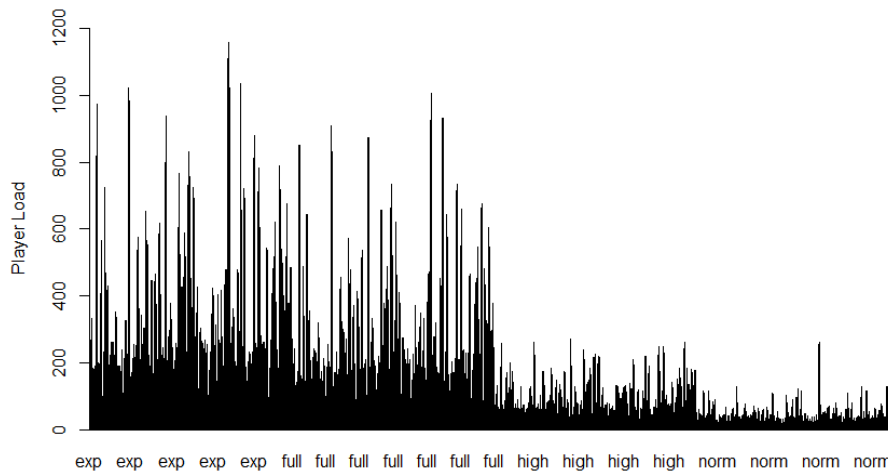
Obrázek 31: Krabicový graf hodnot intenzit herního zatížení (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: Player Load = Herní zatížení hráče, PL Int = intenzita herního zatížení, full = celkové herní zatížení, exp = explozivní herní zatížení, high = vysoké herní zatížení, norm = střední herní zatížení



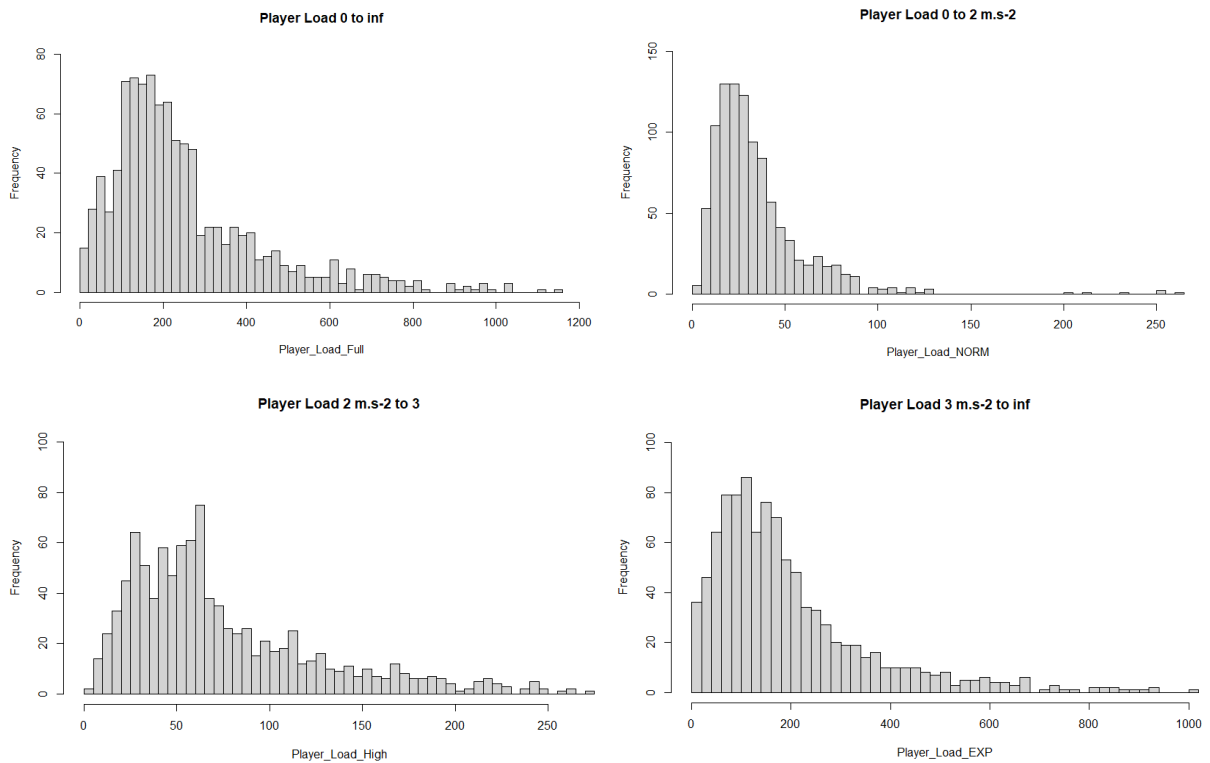
Obrázek 32: Graf párových korelací mezi jednotlivými intenzitami herního zatížení.

Legenda: full = celkové herní zatížení, exp = explozivní herní zatížení, high = vysoké herní zatížení, norm = střední herní zatížení



Obrázek 33: Histogram intenzit herního zatížení (n = 1000).

Legenda: Player Load = herní zatížení hráče, full = celkové herní zatížení, exp = explozivní herní zatížení, high = vysoké herní zatížení, norm = střední herní zatížení



Obrázek 34: Frekvence intenzit herního zatížení (n = 1000).

Legenda: Frequency = frekvence výskytu, Player Load_Full = Celkové herní zatížení ve všech třech rovinách X, Y, Z, Player Load_NORM = Střední herní zatížení ve všech třech rovinách od 0 do 2 m/s², Player Load_High = Vysoké herní zatížení ve všech rovinách od 2 m/s² do 3,5 m/s², Player Load_Exp = Explozivní herní zatížení ve všech rovinách nad 3,5 m/s².

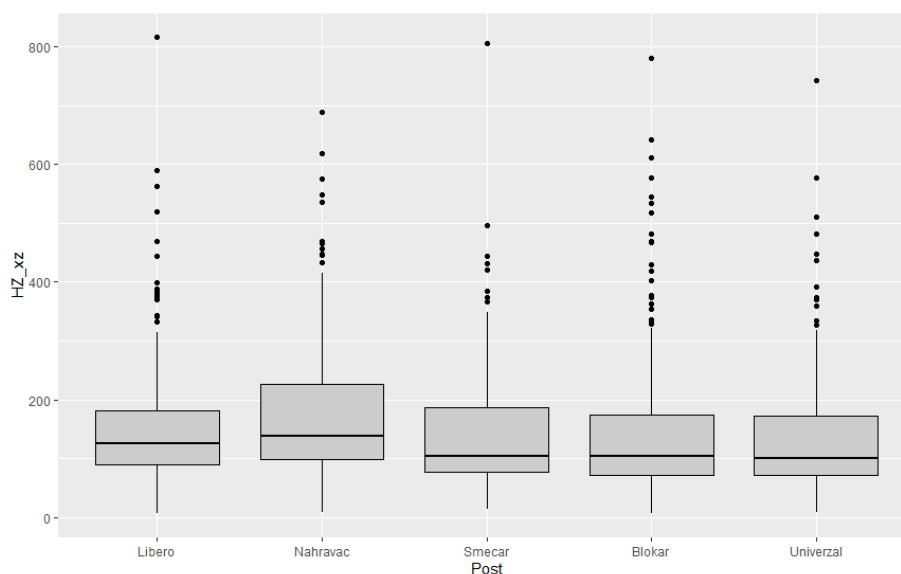
5.3.2 Celkové herní zatížení v horizontální rovině X, Z

Jednofaktorová neparametrická analýza rozptylu prokázala sig. rozdíl mezi herním zatížením pohybu v horizontální rovině X, Z jednotlivých postů (Kruskal-Wallis chi-squared = 22.83, df = 4, p = 0.0001369). Výsledky vícenásobné komparace p hodnot (post-hoc metoda Bonferroni) jsou v Tabulce 24 a naznačují statisticky významnou rozdílnost mezi HZ_{xz} postů Blokař a Nahrávač, Nahrávač a Smečar, Nahrávač a Univerzál (p < 0,05).

Tabulka 24: Dunn (1964) Kruskal-Wallis vícenásobná komparace p hodnot celkového HZ v horizontální rovině mezi posty ve volejbalovém utkání (korekce metodou Bonferroni).

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Blokar - Libero	-2.56921543	1.019291e-02	0.1019290702
2	Blokar - Nahravac	-4.22753759	2.362627e-05	0.0002362627
3	Libero - Nahravac	-1.84857982	6.451851e-02	0.6451850891
4	Blokar - Smeocar	-0.84258080	3.994629e-01	1.0000000000
5	Libero - Smeocar	1.41647168	1.566374e-01	1.0000000000
6	Nahravac - Smeocar	3.03909441	2.372905e-03	0.0237290478
7	Blokar - Univerzal	-0.02679821	9.786207e-01	1.0000000000
8	Libero - Univerzal	2.16431650	3.044007e-02	0.3044006760
9	Nahravac - Univerzal	3.71238095	2.053186e-04	0.0020531864
10	Smeocar - Univerzal	0.70729072	4.793858e-01	1.0000000000

Legenda: Comparison = komparace, Z = hodnoty Z-testu, P.unadj = neupravené hodnoty p, P.adj = upravené hodnoty p.



Obrazek 35: Krabicový graf hodnot herního zatížení jednotlivých postů v horizontální rovině X, Z (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: HZ_{xz} = herní zatížení v X, Z ose

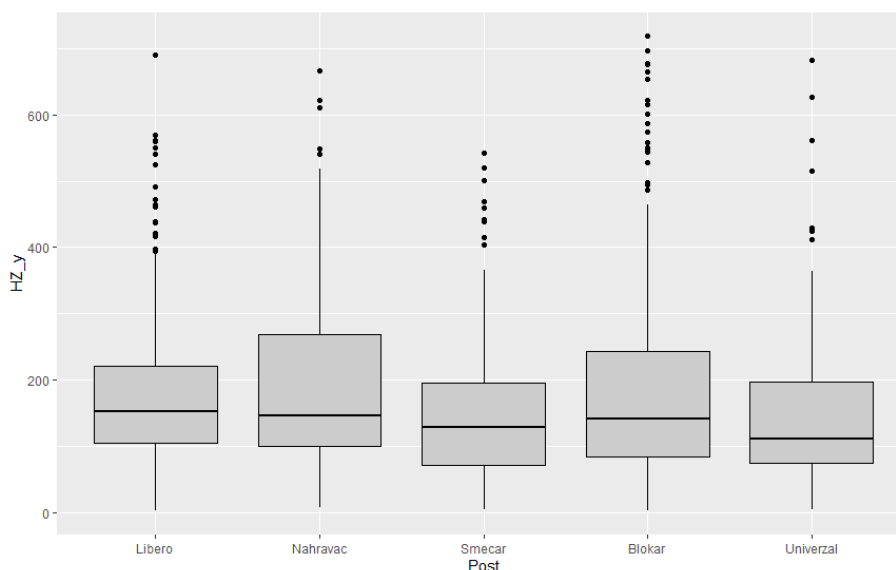
5.3.3 Celkové herní zatížení ve vertikální rovině Y

Jednofaktorová neparametrická analýza rozptylu prokázala sig. rozdíl mezi herním zatížením pohybu v horizontální rovině X, Z jednotlivých postů (Kruskal-Wallis chi-squared = 15.607, df = 4, p = 0.003594). Výsledky vícenásobné komparace p hodnot (post-hoc metoda Bonferroni) jsou v Tabulce 25 a naznačují statisticky významnou rozdílnost mezi HZ_y postů Libero a Univerzál, Nahrávač a Univerzál (p < 0,05).

Tabulka 25: Dunn (1964) Kruskal-Wallis vícenásobná komparace p hodnot celkového HZ ve vertikální rovině mezi posty ve volejbalovém utkání (korekce metodou Bonferroni).

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Blokar - Libero	-0.9028490	0.36660607	1.0000000
2	Blokar - Nahravac	-1.1493799	0.25039938	1.0000000
3	Libero - Nahravac	-0.3403297	0.73360828	1.0000000
4	Blokar - Smecar	1.8782389	0.06034849	0.6034849
5	Libero - Smecar	2.4716700	0.01344836	0.1344836
6	Nahravac - Smecar	2.5398183	0.01109101	0.1109101
7	Blokar - Univerzal	2.3697275	0.01780120	0.1780120
8	Libero - Univerzal	2.9188724	0.00351300	0.0351300
9	Nahravac - Univerzal	2.9395304	0.00328710	0.0328710
10	Smecar - Univerzal	0.4178185	0.67607981	1.0000000

Legenda: Comparison = komparace, Z = hodnoty Z-testu, P.unadj = neupravené hodnoty p, P.adj = upravené hodnoty p.



Obrázek 36: Krabicový graf hodnot herního zatížení jednotlivých postů ve vertikální rovině Y (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: HZ_y = herní zatížení v Y ose

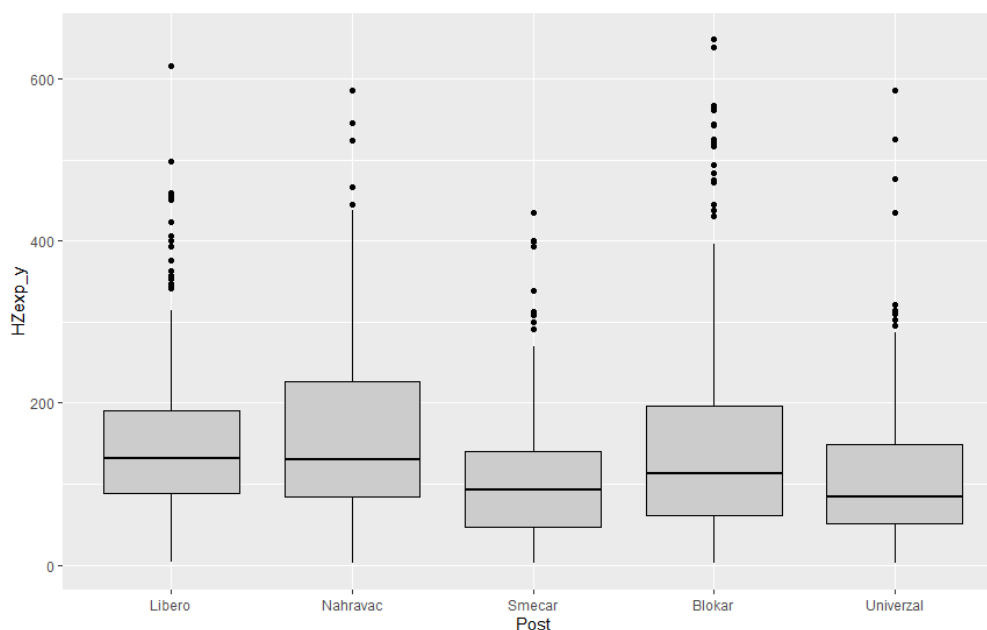
5.3.4 Explosivní herní zatížení ve vertikální rovině Y

Jednofaktorová neparametrická analýza rozptylu prokázala sig. rozdíl mezi herním zatížením pohybu ve vertikální rovině Y jednotlivých postů (Kruskal-Wallis chi-squared = 43.973, df = 4, p = 6.498e-09). Výsledky vícenásobné komparace p hodnot (post-hoc metoda Bonferroni) jsou v Tabulce 26 a naznačují statisticky významnou rozdílnost mezi HZ_{Exp_y} všech postů ($p < 0,05$).

Tabulka 26: Dunn (1964) Kruskal-Wallis vícenásobná komparace p hodnot explozivního HZ ve vertikální rovině mezi posty ve volejbalovém utkání (korekce metodou Bonferroni).

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Blokar - Libero	-2.29209128	2.190038e-02	2.190038e-01
2	Blokar - Nahravac	-2.07474966	3.800974e-02	3.800974e-01
3	Libero - Nahravac	-0.06303896	9.497355e-01	1.000000e+00
4	Blokar - Smecar	3.24698046	1.166364e-03	1.166364e-02
5	Libero - Smecar	4.88579274	1.030135e-06	1.030135e-05
6	Nahravac - Smecar	4.48219962	7.387759e-06	7.387759e-05
7	Blokar - Univerzal	3.13986988	1.690229e-03	1.690229e-02
8	Libero - Univerzal	4.79113491	1.658406e-06	1.658406e-05
9	Nahravac - Univerzal	4.39528719	1.106264e-05	1.106264e-04
10	Smecar - Univerzal	-0.09833481	9.216664e-01	1.000000e+00

Legenda: Comparison = komparace, Z = hodnoty Z-testu, P.unadj = neupravené hodnoty p, P.adj = upravené hodnoty p.



Obrázek 37: Krabicový graf hodnot explozivního herního zatížení jednotlivých postů ve vertikální rovině Y (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: HZ_{exp_y} = explozivní herní zatížení v Y ose

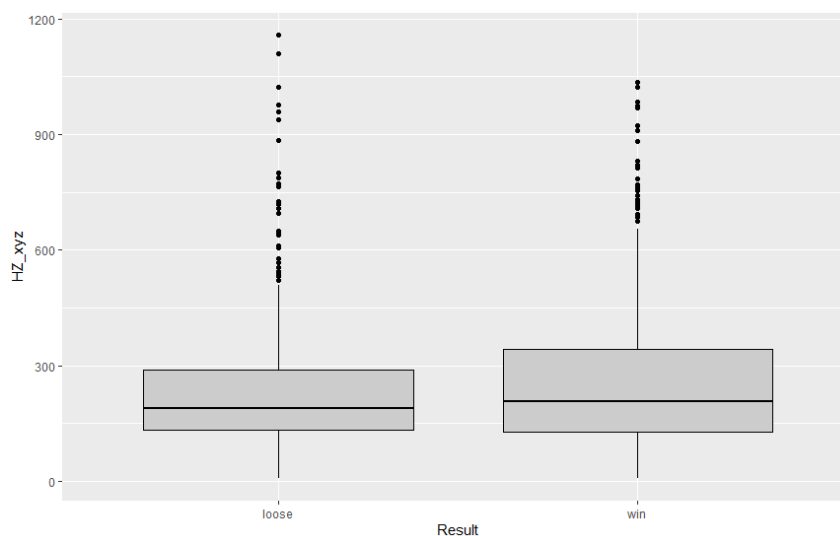
5.3.5 Analýza herního zatížení v závislosti na výsledku rozehry

Dvouvýběrový nepárový t-test s Welch (1938) korekcí prokázal sig. rozdíl mezi 554 analyzovanými celkovými herními zatíženími pohybu hráčů ve vyhraných nebo prohraných rozehrách ($t = 2.2774$, $df = 990.3$, $p = 0.02298$).

Tabulka 27: Deskriptivní statistika celkového herního zatížení ve vyhraných a prohraných rozehrách analyzovaného utkání.

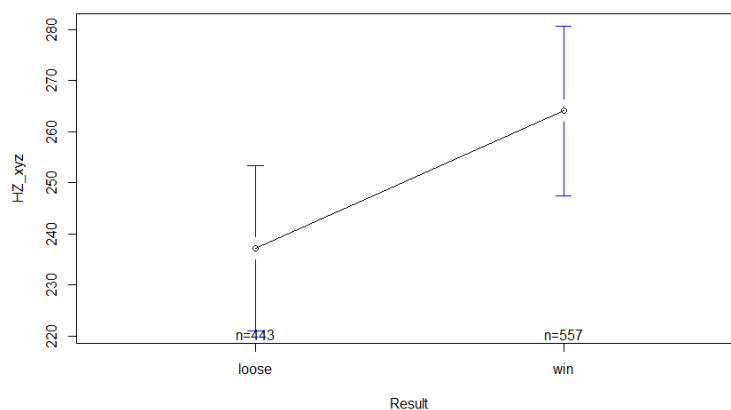
Post	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
HZ _{Full}	557	264,1*	199,7	208,1	234,9	142,2	7,7	1034,9	1027,2	1,4	1,7	8,5
HZ _{Exp}	443	237,2	173,4	189,9	210,0	107,0	6,6	1157,1	1150,6	2,1	6,0	8,2

Legenda: n = počet, mean = průměr, sd = směrodatná odchylka, trimmed = průměr oříznutý o nejvyšší a nejnižší hodnoty, mad = průměrná vzdálenost hodnot od průměru, min = minimum, max = maximum, range = rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou hodnotou, skew = velikost a směr odchylky od horizontální symetrie pravděpodobný distribuce, kurtosis = koeficient špičatosti, se = standardní chyba průměru, * = sig. rozdílný ($p < 0,05$).



Obrázek 38: Krabicový graf hodnot celkového herního zatížení ve vyhraných a prohraných rozehrách analyzovaného utkání (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: HZ_{exp_y} = explozivní herní zatížení v Y ose



Obrázek 39: Průměrné hodnoty celkového herního zatížení ve vyhraných a prohraných rozehrách analyzovaného utkání (konfidenční hodnota 95 %).

Legenda: HZ_{xzy} = herní zatížení v X, Y, Z ose, Result = výsledek rozehry, loose = prohra, win = výhra.

6. DISKUZE PRÁCE

Navzdory tomu, že volejbalový hráč je přirozeně nucen pohybovat se určitým směrem, kvůli své strategické poloze během utkání, nebyla do této doby zveřejněna relevantní data zachycující přesné vzdálenosti nebo směry pohybu hráče. Naše 3D kinematická analýza přináší takový vhled, který kvantifikuje specifické poměry distance a intenzity pohybu. Nejdůležitějším aspektem této studie bylo použití dat od elitních hráčů v reálném prostředí utkání. Shnodell a Reynaud (2002) poznamenali, že konkurenční požadavky během sezóny by měly výrazně ovlivnit návrh praktických cvičení. Zvýšená specifická diferenciací tréninkových metod je nutností pro moderní trénink, nejen pro konkrétní sport, ale také pro konkrétní herní specializace. Čím více cvičení napodobuje pohyby her, tím větší je účinek tréninku (Black, 1995; Hedrick, 2007; Newton a kol., 1999; Travlos, 2010; Zatsiorsky & Kraemer, 2006). V rozsahu 0,7 m až 2 m bylo provedeno $91,8 \pm 1,3\%$ úseků vzdálenosti pohybu. Na základě výsledků této studie konstatujeme, že polovina všech pohybů měla délku větší než 0,7 m, ale menší než 1 m ($48,1 \pm 3,9\%$). Téměř 50% ostatních vzdáleností se skládalo z pohybů pohybujících se méně než 1 m, ale menších než 2 m ($43,6 \pm 1,3\%$). Pravděpodobnost, že 92% jednoho úseku lineárního pohybu před změnou směru hráče ve volejbalovém utkání bude proveden do vzdálenosti 2 m, je zásadní pro návrh tréninkové praxe.

Evaluace směrů pohybů ukázalo, že každá specializace hráče dává většinou přednost dvěma hlavními směry. U smečářů byla větší pravděpodobnost použití pohybu Vpřed (37,7%). To je v kontrastu s Nahrávačem, pro které byl zásadní pohyb Vpravo (38,3%). Post Blokař a Univerzál se pohyboval většinou směrem Vpravo (33,4%). Blokaři se více soustředili na postranní pohyby doprava pravděpodobně z důvodu častějšího útoku oponenta ze zóny 4. Defenzivnější post Libero dominoval v pohybech směrem Vlevo (více než 35%). Tento výsledek je velmi důležitý, pokud jde o bližší pohled na specifickou vzdálenosti a směru, což je rozhodující pro trénink volejbalu v hale nebo vyhodnocení vnějšího zatížení a výkonu hráče. Pro všechny herní specializace je důležité rozvíjet schopnost vytrvalostní síly (Hagerman, 2005; Prieske et al., 2016).

V nedávných studiích byl použit podobný přístup k softwarové analýze volejbalové hry (Coleman, 1997; Hank a kol., 2016; Häyrinen a kol., 2004, 2011, 2012; Chen a kol., 2011; 2012; LI a kol., 2017; Lobietti, 2009; Seminati a kol., 2015, Silva a kol., 2016). Silva a kol. (2016) analyzovali rotace ve vztahu k výsledku zápasu. Přes vyvážený výsledek mají různé střídání kladné i záporné stránky strategie a externího zatížení hráčů. Široká škála specifických povinností každé specializace během hry způsobují zhoršení v rámci komparace mezi hráči. Strategie hry je totiž nezanedbatelným faktorem, který určuje

možné rozdíly v zatížení hráčů. Jak to pravidla hry dovolují, Libero a Middle Hitters se neustále střídají na hřišti mezi přestávkami v rozeře, takže podle rozdílů v účasti je vyžadována procentuální kvantifikace frekvence pohybu.

Při interpretaci výsledků této studie můžeme konstatovat, že zatížení jednotlivých hráčů, pokud jde o horizontální pohyb v ose X a Z, se může v jedné rozeře lišit až o 30 %. Mroczek a kol. (2014) evaluoval průměrnou distanci pohybu za celé utkání 1383 ± 102 m u elitních mužských hráčů. Největší úroveň distance dosáhl nahrávač s 1630 ± 170 m, zatímco nejnižší dosáhli blokaři se 788 ± 92 m. Autoři uváděli, že smečáři pokryly průměrně 468 ± 54 m v jednom setu, což je nižší hodnota ve srovnání s hodnotou zjištěnou v této studii pro celkem 4 sety (528 m). Průměrná vzdálenost této studie v jedné rozeře u smečárek byla $8,8 \pm 6$ m. Mroczek a kol. (2014) evaluoval hodnotu 10,36 m, ale musíme brát v úvahu rozdílné pohlaví v komparaci s naší studií. Autoři uvádějí signifikantně nevýznamný rozdíl ($p < 0,05$) vzdálenosti (průměr během jedné rozeře) při porovnání jednotlivých hracích specializací, neboli postů. Jak je uvedeno ve studii Hedricka (2007), vzdálenost pohybu ve volejbale je určena konkrétními akcemi hráče s převládajícími prvky, jako je vertikální výskok, rychlé změny směru, četné rychlé útočné a obranné akce. V současné době neexistuje žádná studie zabývající se elitními volejbalovými hráči a 3D kinematickou analýzou pohybu hráčů během reálného utkání.

Vzhledem k tomu, že celková vzdálenost pohybu u hráček závisí také na celkové délce trvání a počtu rozeher celkem, se mohou tyto hodnoty mezi utkáními lišit, ale průměrné vzdálenosti s průměrným trváním rozeher po analýze 167 rozeher a více než 900 distancí jednotlivých postů se budou pravděpodobně opakovat i u jiných elitních utkáních. Průměrná maximální vzdálenost hráček byla $28,9 \pm 3,4$ m a poskytla nám informace o tom, jak dlouhé vzdálenosti jsou hráči vystaveny v nejdělsích rozeřích. Palao a Valadés (2014) se zabýval standardizací rychlosti podání pro trénink podání a příjmu míče ve volejbalu. Výsledky poskytly standardizovaný rozsah rychlostí různých typů podání u mužského a ženského volejbalu.

Herní zatížení jednotlivých herních specializací bylo zkoumáno studií Vlantes & Readdy (2017). Průměrně dosahovali hráči v utkání celkem 4 setů herní zatížení $446 \pm 98,9$. Studia využívala akcelerometry, které následně vyhodnotili pohyby na střední intenzitu ($< 2 \text{ m/s}^2$) a taky explozivní intenzitu (nad $3,5 \text{ m/s}^2$) jako v naší studii. Explozivní HZ tvořilo jenom 7% celkového HZ, ale v naší studii tvořilo explozivní HZ (pohyb se zrychlením nad $3,5 \text{ m/s}^2$) 77,4 % z celkového HZ. Důvod v tak velkém rozdílu bude pravděpodobně v metodě zpracování akcelerometrem. V naší studii jsme vyhodnocovali zrychlení mezi každým bodem pohybu každých 20 ms času. Průměrná velikost HZ v naší studii už dosáhla více srovnatelný výsledek $252,2 \pm 188,9$. Studie Vlantes & Readdy (2017)

prováděla výzkum na mladých mužských hráčích národní úrovně vysokoškolské ligy NCAA a prokázala signifikantní rozdíly ($p < 0,05$) v herním zatížení mezi jednotlivými posty a taky jednotlivými intenzitami pohybu. Naše studie evaluovala signifikantní rozdílnost mezi celkovým HZ Nahrávače a Univerzála ($p < 0,05$), ale Libero a Univerzál a Nahrávač a Smečář dosáhli taky těsné odlišnosti, no nedosáhla signifikantní úroveň ($p = 0,07$). Mezi úrovní všech druhů analyzovaných intenzit (full = celkové herní zatížení, exp = explozivní herní zatížení, high = vysoké herní zatížení, norm = střední herní zatížení) byla v naší studii prokázána signifikantní rozdílnost ($p < 0,05$). Vyšší výsledky lze předpokládat z důvodu rozdílu v pohlaví. Do budoucnosti doporučujeme metodou 3D kinematické analýzy zpracovat jak větší počet elitních utkání, tak i rozdílnou úroveň a taky analyzovat různé věkové kategorie.

Volejbal je ve své podstatě velmi dynamickým sportem, v němž motorický projev hráčů neustále mění svůj charakter. Vzhledem k velikosti jedné poloviny hrací plochy (9 m x 9 m) a počtu hráčů (celkem 6 v jedné polovině hřiště) můžeme předpokládat, že prostor pro provádění pohybů je relativně malý. Z toho důvodu apelujeme na monitoring a zvýšenou pozornost na pohyb hráčů ve hřišti. Pohyb zahrnuje akceleraci až 14 m/s na začátku pohybu, následuje decelerace na malém místě, vertikální pohyby a výskoky. Tyto pohyby mohou mít vliv na kvalitu herního výkonu během utkání, a s elitní úrovní jsou pravděpodobně rychlejší (Silva et al., 2016). Doporučujeme tyto předpoklady dále vědecky podkládat. Strategie hry by měla být přínosná nejen proti soupeři, ale také pro domácí tým, což znamená připravit hráče na jejich individuální potřeby. Limitem této studie byla omezená velikost vzorku a velký časově náročný měřicí proces, který byl použit ke sběru dat. Pro další analýzu významu a zobecnění se doporučuje vyhodnotit vyšší počet elitních zápasů a hráčů společně se zaměřením na mužský volejbal.

Zvolená metoda 3D kinematické video analýzy nám potvrdila hypotézu 1 a umožnila kvantifikovat distanci pohybu elitních hráčů volejbalu v prostoru během oficiálního utkání a umožnila vypočítat herní zatížení hráčů. Hypotéza 2 nebyla v práci potvrzena, herní specializace „Libero“ nedosáhlo signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné průměrné distance pohybu v horizontální rovině X, Z v komparaci s průměrnými hodnotami ostatních herních specializací „Smečář“, „Blokař“, „Univerzál“ a „Nahrávač“. Hypotéza 3 byla potvrzena z části. V elitních volejbalových rozehrách existovala signifikantně odlišná ($p < 0,05$) úroveň celkového herního zatížení HZFull jenom mezi herními specializacemi Nahrávač a Univerzál. Hypotéza 4 v této práci byla potvrzena, celkové explozivní herní zatížení (HZExp; $< 3,5 \text{ m/s}^2$) dosahovalo signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné hodnoty v komparaci s celkovým středním herním zatížením (HZNorm; 0 do $2,0 \text{ m/s}^2$). Hypotéza 5 nebyla potvrzena, herní specializace „Libero“ nedosáhlo signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné hodnoty celkového herního zatížení v horizontální rovině X, Z (EZxz) v komparaci s

ostatními specializacemi „Smečář“, „Blokař“, „Univerzál“ a „Nahrávač“. V horizontální rovině dosáhli sig. významného rozdílu specializace Blokař vs. Nahravač a Nahravač vs. Univerzál a Smečář. Hypotéza 6 v této práci nebyla potvrzena, herní specializace „Blokař“ nedosáhla signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné hodnoty celkového herního zatížení ve vertikální rovině Y (EZy) v komparaci s ostatními specializacemi „Smečář“, „Libero“, „Univerzál“ a „Nahrávač“. Ve vertikální rovině Y dosáhli sig. významného rozdílu specializace Libero a Univerzál, Nahrávač a Univerzál. Hypotéza 7 byla v této práci částečně potvrzena, všechny herní specializace dosáhly signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné hodnoty explozivního herního zatížení ve vertikální rovině Y (HZExp_y; $< 3,5 \text{ m/s}^2$). Hypotéza 8 v této práci byla potvrzena. Ve výherních rozehrách dosahovali hráči signifikantně ($p < 0,05$) rozdílné a vyšší hodnoty celkového herního zatížení (HZFull) v komparaci s prohranými rozehrami.

7. ZÁVĚR PRÁCE

Cílem této studie bylo evaluovat parametry externího herního zatížení elitních volejbalových hráček během oficiálního utkání. Reálné podmínky se často dostanou do konfliktu s nedostatkem znalostí reálné zátěže dané sportovní hry. Analýza samotného utkání je v tomto bodě kritická a různé typy zatížení by měli být monitorovány a kategorizovány vzhledem k herním specializacím. V této studii byl analyzován celkový počet 4 setů ($41,8 \pm 2,2$ rozeher v setě) s celkem 167 rozehrami a 4675 úseky distancí. Pro vyhodnocení pohybu jednotlivých hráčů byla vybrána metoda 3D kinematické analýzy pohybu. Poloautomatické trasování kalibrovaným prostorem bylo zvoleno z důvodu nemožnosti zasahovat do oficiálního utkání pro implementaci tělních markerů nebo akcelerometrů. 85 % všech rozeher mělo trvání do 12,4 s a 95 % trvalo do 18 s (Tabulka 4; Obrázek 15). Průměrná délka trvání rozehry dosahovala $7,76 \pm 5,1$ s. Zaznamenané pohyby byly klasifikovány vzhledem směru k volejbalové síti a rozděleny po 90° na směry Vpřed, Vzad, Vpravo a Vlevo. Nejvyšší poměr pohybu dosáhl post Smečář pro směr Vpřed (35,8 %), Blokař pro směr Vpravo (37,7 %), Nahrávač pro směr Vpravo (37,8 %), Univerzál pro směr Vpřed (36 %) a Libero pro směr Vlevo (31,8 %). Nejnižší poměr pohybu dosáhl post Smečář pro směr Vpravo (19,7 %), Blokař pro směr Vzad (10,1 %), Nahrávač pro směr Vzad (17,6 %), Univerzál pro směr Vlevo (13,7 %) a Libero pro směr Vpravo (18 %). 91,8% pohybových sekcí měřených mezi od 0,7 dosahovalo délky do 2 m. Více než 60 % všech distancí pohybu mělo vzdálenost od 0 do 0,7 m. Téměř 50 % vzdáleností mělo distanci mezi 1 m až 2 m. Jenom 8% vzdáleností bylo delších než 2 m. Průměrná velikost herního

zatížení byla $252,2 \pm 188,9$ z čeho explozivní pohyb se zrychlením nad $3,5 \text{ m/s}^2$ tvořil 77 %. Jednofaktorová neparametrická analýza rozptylu prokázala sig. rozdíl mezi intenzitami herního zatížení pohybu (Kruskal-Wallis chi-squared = 2057.8, df = 3, $p < 2.2e-16$). Výsledky vícenásobné komparace p hodnot (post-hoc metoda Bonferroni) naznačují statisticky významnou rozdílnost mezi všemi intenzitami herního zatížení ($p < 0,05$). Jednofaktorová neparametrická analýza rozptylu prokázala sig. rozdíl mezi herním zatížením pohybu v horizontální rovině X, Z jednotlivých postů (Kruskal-Wallis chi-squared = 15.607, df = 4, $p = 0.003594$). Výsledky vícenásobné komparace p hodnot (post-hoc metoda Bonferroni) naznačují statisticky významnou rozdílnost mezi HZy postů Libero a Univerzál, Nahrávač a Univerzál ($p < 0,05$). Jednofaktorová neparametrická analýza rozptylu prokázala sig. rozdíl mezi herním zatížením pohybu ve vertikální rovině Y jednotlivých postů (Kruskal-Wallis chi-squared = 43.973, df = 4, $p = 6.498e-09$). Výsledky vícenásobné komparace p hodnot (post-hoc metoda Bonferroni) naznačují statisticky významnou rozdílnost mezi HZExp_y všech postů ($p < 0,05$). Dvouvýběrový nepárový t-test s Welch (1938) korekcí prokázal sig. rozdíl mezi 554 analyzovanými celkovými herními zatíženími pohybu hráčů ve vyhraných nebo prohraných rozehrách ($t = 2.2774$, df = 990.3, $p = 0.02298$). Navrhovaná analýza výkonu naznačuje podstatnou složku vyhodnocení externího zatížení pohybu všech herních specializací, a může tak sloužit jako pilotní základ pro implementaci do specifické pohybové a kondiční přípravy.

REFERENCE

1. Aughey, R. J. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International journal of sports physiology and performance*, 6(3), 295-310.
2. Bartlett, J. D., O'Connor, F., Pitchford, N., Torres-Ronda, L., & Robertson, S. J. (2017). Relationships between internal and external training load in team-sport athletes: evidence for an individualized approach. *International journal of sports physiology and performance*, 12(2), 230-234.
3. Boden, B. P., Sheehan, F. T., Torg, J. S., & Hewett, T. E. (2010). Non-contact ACL injuries: mechanisms and risk factors. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 18(9), 520.
4. Bompa, T., & Buzzichelli, C. (2015). *Periodization Training for Sports*, 3E. Human kinetics.
5. Borelli, G. A. (1743). *De motu animalium*. Apud Petrum Gosse.
6. Brughelli, M., Cronin, J., Levin, G., & Chaouachi, A. (2008). Understanding change of direction ability in sport. *Sports medicine*, 38(12), 1045-1063.
7. Colby, M. J., Dawson, B., Heasman, J., Rogalski, B., & Gabbett, T. J. (2014). Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian footballers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(8), 2244-2252.
8. Diderot, D. (1772). *Encyclopédie de Diderot et d'Alembert*. FM Ricci.
9. Davis, D. L. (1968). A cinematographic comparison of a volleyball spike performed with and without ankle weights.
10. Dunn, O. J. (1964). Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, 6(3), 241-252.
11. Foster, C. A. R. L. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(7), 1164-1168.
12. Gabbett, T. J. (2008). Do skill-based conditioning games offer a specific training stimulus for junior elite volleyball players?. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 509-517.
13. Gazzano, F., & Gabbett, T. (2017). A practical guide to workload management and injury prevention in college and high school sports. *06 Understanding and managing stress in collegiate athletics*, 4(4), 30.
14. Gómez-Carmona, C. D., Pino-Ortega, J., Sánchez-Ureña, B., Ibáñez, S. J., & Rojas-Valverde, D. (2019). Accelerometry-Based External Load Indicators in Sport: Too Many Options, Same Practical Outcome?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 5101.

15. Greenwood, D., Davids, K., & Renshaw, I. (2012). How elite coaches' experiential knowledge might enhance empirical research on sport performance. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 7(2), 411-422.
16. Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine*, 44(2), 139-147.
17. Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of applied physiology*, 88(6), 2131-2137.
18. Hank, M., Zahalka, F., & Maly, T. (2015). Comparison of spikers distance covered in elite female volleyball. *Sport Sci*, 8(2), 102-6.
19. Hank, M., Malý, T., Zahálka, F., Dragijský, M., & Bujnovský, D. (2016). Evaluation of the horizontal movement distance of elite female beach volleyball players during an official match. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 16(3), 1087-1101.
20. Hank, M., Malý, T., Zahálka, F., Novotný, D., Gryc, T., & Hráský, P. (2019). Movement direction analysis in elite indoor volleyball match.. *Acta Kinesiologica*, 13, 22-28.
21. Hong, Y., & Bartlett, R. (Eds.). (2008). *Routledge handbook of biomechanics and human movement science*. Routledge.
22. Chèze, L. (2014). *Kinematic Analysis of Human Movement*. John Wiley & Sons.
23. Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *Int. J. Sports Physiol. Perform*, 14, 270-273.
24. Jaspers, A., Kuyvenhoven, J. P., Staes, F., Frencken, W. G., Helsen, W. F., & Brink, M. S. (2018). Examination of the external and internal load indicators' association with overuse injuries in professional soccer players. *Journal of science and medicine in sport*, 21(6), 579-585.
25. Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., ... & Cunningham, D. J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: Optimal recovery. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1134-1138.
26. Laux, P., Krumm, B., Diers, M., & Flor, H. (2015). Recovery–stress balance and injury risk in professional football players: a prospective study. *Journal of sports sciences*, 33(20), 2140-2148.
27. Lehmann, M. J., Lormes, W., Opitz-Gress, A., Steinacker, J. M., Netzer, N., Foster, C., & Gastmann, U. (1997). Training and overtraining: an overview and experimental results in endurance sports. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 37(1), 7-17

28. Lehnert, M., Stejskal, P., Háp, P., & Vavák, M. (2008). Load intensity in volleyball game like drills. *Acta Univ. Palacki. Olomuc*, 38(1), 53.
29. Majorczyk, M., & Smolag, D. (2016). Effect of physical activity on IGF-1 and IGFBP levels in the context of civilization diseases prevention. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 67(2).
30. Mann, J. B., Bryant, K. R., Johnstone, B., Ivey, P. A., & Sayers, S. P. (2016). Effect of physical and academic stress on illness and injury in division 1 college football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(1), 20-25.
31. Marques, M. C., Van den Tillaar, R., Gabbett, T. J., Reis, V. M., & González-Badillo, J. J. (2009). Physical fitness qualities of professional volleyball players: determination of positional differences. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1106-1111.
32. Masley, J. W., Hairabedian, A., & Donaldson, D. N. (1953). Weight training in relation to strength, speed, and co-ordination. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 24(3), 308-315.
33. McLaren, S. J., Macpherson, T. W., Coutts, A. J., Hurst, C., Spears, I. R., & Weston, M. (2018). The relationships between internal and external measures of training load and intensity in team sports: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(3), 641-658.
34. Nicolella, D. P., Torres-Ronda, L., Saylor, K. J., & Schelling, X. (2018). Validity and reliability of an accelerometer-based player tracking device. *PloS one*, 13(2).
35. Oatis, C. A. (2009). *Kinesiology: the mechanics and pathomechanics of human movement*. Lippincott Williams & Wilkins.
36. Oliveira, L. D. S., Moura, T. B. M. A., Rodacki, A. L. F., Tilp, M., & Okazaki, V. H. A. (2020). A systematic review of volleyball spike kinematics: Implications for practice and research. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 1747954119899881.
37. Purkhús, E., Krustrup, P., & Mohr, M. (2016). High-intensity training improves exercise performance in elite women volleyball players during a competitive season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(11), 3066-3072.
38. Reeser, J. C., & Bahr, R. (Eds.). (2017). *Handbook of sports medicine and science, Volleyball*. John Wiley & Sons.
39. Reynolds, H. J. (1930). Volleyball Tests. *The Journal of Health and Physical Education*, 1(3), 42-44.
40. Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 453.
41. Robson-Ansley, P. J., Gleeson, M., & Ansley, L. (2009). Fatigue management in the preparation of Olympic athletes. *Journal of sports sciences*, 27(13), 1409-1420.

42. Sawczuk, M., Maciejewska, A., Ciężczyk, P., & Eider, J. (2011). The role of genetic research in sport. *Science & sports*, 26(5), 251-258.
43. Sanders, G. J., Boos, B., Shipley, F., Scheadler, C. M., & Peacock, C. A. (2018). An accelerometer-based training load analysis to assess volleyball performance. *J. Exerc. Nutr*, 1, 1-4.
44. Silva, M., Marcelino, R., Lacerda, D., & João, P. V. (2016A). Match Analysis in Volleyball: a systematic review. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 5(1), 35-46.
45. Silva, M., Sattler, T., Lacerda, D., & João, P. V. (2016B). Match analysis according to the performance of team rotations in Volleyball. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 16(3), 1076-1086.
46. Sheppard, J. M., Gabbett, T. J., & Stanganelli, L. C. R. (2009). An analysis of playing positions in elite men's volleyball: considerations for competition demands and physiologic characteristics. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(6), 1858-1866.
47. Sheppard, J. M., Chapman, D. W., Gough, C., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2009B). Twelve-month training-induced changes in elite international volleyball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(7), 2096-2101.
48. Sweeting, A. J., Aughey, R. J., Cormack, S. J., & Morgan, S. (2017). Discovering frequently recurring movement sequences in team-sport athlete spatiotemporal data. *Journal of Sports Sciences*, 35(24), 2439-2445.
49. Trajković, N., Madić, D., Sporiš, G., Jašić, D., & Krakan, I. (2016). Skill and game-based training as an integral part of volleyball conditioning. *Acta Kinesiologica*, 10(Suppl 1), 41.
50. Turner, A. (2018). *Routledge Handbook of Strength and Conditioning: Sport-specific Programming for High Performance*. Routledge.
51. Van Hooren, B., & Bosch, F. (2016). Influence of muscle slack on high-intensity sport performance: a review. *Strength and Conditioning Journal*, 38(5), 75-87.
52. Vlantes, T. G., & Readdy, T. (2017). Using Microsensor Technology to Quantify Match Demands in Collegiate Women's Volleyball. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(12), 3266-3278
53. Weaving, D., Marshall, P., Earle, K., Nevill, A., & Abt, G. (2014). Combining internal- and external-training-load measures in professional rugby league. *International journal of sports physiology and performance*, 9(6), 905-912.
54. Welch, B. L. (1938). The significance of the difference between two means when the population variances are unequal. *Biometrika*, 29(3/4), 350-362.

55. Weston, M. (2013). Difficulties in determining the dose-response nature of competitive soccer matches. *Journal of Athletic Enhancement*, 2(1).
56. Wnorowski, K., Aschenbrenner, P., Skrobecki, J., & Stech, M. (2013). An assessment of a volleyball player's loads in a match on the basis of the number and height of jumps measured in real-time conditions. *Balt J Heal Phys Act*, 5(3), 199-206.
57. Zahálka, F., Malý, T., Malá, L., Ejem, M., & Zawartka, M. (2017). Kinematic analysis of volleyball attack in the net center with various types of take-off. *Journal of human kinetics*, 58(1), 261-271.
58. Zary, J. C., Reis, V. M., Rouboa, A., Silva, A. J., & Fernandes, P. R. (2010). The somatotype and dermatoglyphic profiles of adult, junior and juvenile male Brazilian top-level volleyball players. *Science & Sports*, 25(3), 146-152.