


Praktické využití digitálních technologií při analýze zátěže a prevenci MSD v důsledku manipulace s břemeny

 22.12.2021

PRACTICAL USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN WORK LOAD ANALYSIS AND MSD PREVENTION AS A RESULT OF LOAD HANDLING

Martin Röhrich¹, Anna Cidlinová²; Zdeněk Kaplan³

¹Společnost HSEF, s.r.o. martin.rohrich@hsef.cz

²Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i. cidlinova@vubp-praha.cz

³Pracoviště AVE SURGEON, s.r.o., avesurgeon@seznam.cz

ergonomie

analýzy

digitální technologie

pohybový aparát

Abstrakt

Článek se zabývá problematikou a možnostmi digitálních technologií v oblasti hodnocení fyzické zátěže a ergonomie. V první části článku jsme popsali souhrn principů, možností a některých omezení systémů pro záznam pohybu (MoCap) a jeho digitální analýzu, 2D a 3D kinematickou analýzu pohybu a nadstavbových softwarových nástrojů pro hodnocení pohybové zátěže a ergonomii. V další části příspěvku uvádíme příklady praktického využití některých systémů a výstupy, které nám mohou poskytnout.

Klíčová slova: zachycení pohybu, 3D kinematická analýza, ergonomie, analýza zatížení pohybového aparátu, prevence poruch pohybového aparátu

Abstract

The article deals with the issues and possibilities of digital technologies in the area of physical load assessment and ergonomics. As the first part of the article, we described a summary of the principles, possibilities and some limitations of systems for Motion Capture (MoCap) and its digital analysis, 2D and 3D kinematic analysis of motion and add-on software tools for physical load assessments and ergonomics. In the next part of the paper, we present examples of practical use of some systems and outputs that they can provide us.

Keywords: motion capture, 3D kinematic analysis, ergonomics, work load analysis, MSD prevention

Přijat k publikování / Received for publication 25. 11. 2021

Úvod

Rozvoj nových technologických oborů, použití nových materiálů a pracovních postupů a požadavky na růst výrobních kapacit v posledních 5 letech změnil tradiční pojetí výkonu práce, a to jak z pohledu tvorby pracovišť, pracovních míst, použitých výrobních technologií a nástrojů, tak i z pohledu demografické, antropometrické a profesní struktury pracovníků vykonávajících pracovní činnosti.

Původně zažité pojetí výkonu pracovních činností tak v současné době mění svůj charakter. Zatímco dříve jsme se zaměřovali především na hodnocení rizik, následnou ochranu a prevenci s cílem zajistit zejména fyzickou bezpečnost, současný trend poznamenaný také změnou životního stylu, pohybových a pracovních návyků sebou přináší další požadavky na tvorbu a optimalizaci pracovišť, pracovní prostředí, ochranu zdraví při práci, eliminaci stresových faktorů a psychosociálních vlivů ve vztahu člověka a pracovního systému.

U řady pracovních činností vyvolává manipulace s břemeny zvýšenou zátěž pohybového aparátu. Kombinace špatných pohybových návyků, zvýšené fyzické zátěže a přetížení organismu, nedostatečná regenerace a vlivy různých druhů stresorů velmi významně působí na celkovou tělesnou zdatnost a pohybovou výkonnost.

Z pohledu prevence a předcházení vzniku obtíží spojených s přetížením nervosvalového aparátu je proto vhodné nezaměřovat se pouze na lokální působení nepříznivých vlivů a stresorů, ale sledovat výkon pracovní činnosti a vykonávaných pohybů jako celek.

Cílem tohoto příspěvku je přinést informace o moderních technologiích používaných v oblasti pohybové a ergonomické diagnostiky a na konkrétním příkladu ukázat možnosti, které nám tyto technologie a softwarové nástroje přinášejí.

Současné možnosti využití digitálních technologií k záznamu pohybu a jeho analýze

V současnosti je díky moderním technologiím a prvkům umělé inteligence možné k analýze pohybu lidského těla, pohybové zátěže a ergonomie využít řadu nástrojů. Metody sledování pohybu a ergonomického hodnocení pracovních činností můžeme obecně rozdělit do tří kategorií:

- **klasické pozorovací metody** - jsou obvykle založeny na pozorování pohybu a výkonu pracovní činnosti odborníkem, který zaznamenává pozorované odchylky nebo potenciální nebezpečí vznikající při výkonu pracovní činnosti obvykle do připravených formulářů; výsledek této formy hodnocení závisí však především na dovednostech a předchozí praxi odborníka, který pozorování provádí;
- **metody založené na snímání obrazového nebo video záznamu** - využívají podle jejich složitosti různé technické a SW pomůcky ke sledování a následnému hodnocení pohybu a pracovních činností; přesnost těchto systémů závisí především na počtu snímacích prostředků a úhlu snímání sledovaného objektu; přes možnosti analytických a výpočetních systémů se při použití těchto nástrojů stále potýkáme především s omezenými možnostmi průmyslových aplikací, dobou zpracování a celkovou nepřesností získaných výsledků;
- **metody využívající kombinovaných digitálních nástrojů k záznamu a analýze pohybu** - jsou v současnosti především zastoupeny systémy Motion Capture - systémy pro zachycení pohybu (dále jen MoCap); tyto systémy využívají kombinace různých typů optických senzorů, značek, kamerových systémů, pohybových a inerciálních senzorů nebo jejich vzájemné kombinace; pomocí takto získaných informací pak můžeme za pomoci

- SW nástrojů vytvářet 2D nebo 3D objekty a provádět následnou analýzu pohybů celého těla nebo jeho částí [5, 6].

Na trhu můžeme nalézt řadu dodavatelů systémů umožňujících záznam a analýzu pohybu jako např. Cometa, BTS, Delsys, Nokov, Noraxon, OptiTrack, Qualisys, Rokoko, Vicon nebo Xsens. Výrobci těchto systémů se zaměřují na různé obory lidské činnosti od filmového a herního průmyslu až po vzdělávání, medicínu, rehabilitaci, ergonomii, virtuální realitu a vědu a výzkum. Jednotlivé systémy podle své složitosti umožňují jak prostý záznam pohybu lidského těla, tak i další doplňková měření a analýzy [8, 9].

Důležitým faktorem pro využití MoCap systémů při analýze pohybu a v ergonomické praxi je jejich odolnost vůči rušení ze strany výrobních technologií a průmyslových zařízení, aplikovatelnost 2D nebo 3D kinematického modelu, dostupnost snímaných dat pro další zpracování a možnost rozšíření systémů o měření dalších biologických veličin jako je činnost svalů (EMG), nebo srdeční činnost.

MoCap systémy můžeme z pohledu použitých snímacích metod rozdělit na:

- optické systémy** - optické snímání pohybů vyžaduje použití různých typů kamer umístěných kolem sledovaného objektu. Pro zvýšení přesnosti a eliminaci ztráty informací o pohybu těla se dnes využívá především kombinace kontrolních značek a kamerového záznamu pohybu. Při snímání objektu a kontrolních značek umístěných na těle se využívá kombinace jak standardního, tak i infračerveného snímání. Přesnost systému závisí především na rozlišení a rychlosti snímání, umístění kamer, schopnosti vzájemné synchronizace kamer a počtu použitých kontrolních značek. Čím více kamer a značek, tím lépe, protože pohybující se části těla nebo jednotlivé značky mohou být během pohybu zastíněny nebo blokovány jinými značkami nebo objekty [5, 6, 7];
- systémy využívající polohových a pohybových senzorů** - ke snímání polohy a pohybů těla můžeme využít jednoduchých pohybových senzorů nebo komplexních IMU (inerciální měřicí jednotky) s vestavěnými senzory pro detekci pohybu a umístění těla v prostoru. IMU jednotky podle jejich složitosti obsahují jeden nebo několik gyroskopů a akcelerometrů, měřiče tlaku a magnetometry. Kombinace senzorů poskytuje především informace o poloze jednotlivých částí těla, rotační orientaci, zrychlení pohybu a úhlové rychlosti a orientaci v prostoru. Významnou roli hrají také magnetometry, které měří magnetické pole Země nebo uměle vytvořené magnetické pole a umožňují sledovat pozici a orientaci IMU senzorů v prostoru. Přesnost IMU systémů záleží především na počtu snímaných parametrů, přesnosti senzorů, odolnosti vůči magnetickému rušení a schopnosti vzájemné synchronizace použitých IMU jednotek [5, 6, 7].



Image not found or type unknown

Obr. 1: Příklady snímání pohybu pomocí snímacích kamer a IMU senzorů [1, 2]

Praktické využití MoCap technologie při záznamu a analýze pohybu



Obr. 2: Umístění Xsens senzorů na těle [2]

Pro účely praktického sledování a hodnocení pohybu, pohybových vazeb a ergonomické analýzy jsme použili systém vyvinutý společností Xsens, který k záznamu pohybu lidského těla využívá IMU senzorů. Pohyb těla je zaznamenán pomocí 17 speciálních IMU jednotek. Jednotlivé senzory mohou být součástí kompletního měřicího obleku nebo jsou připevněny k jednotlivým segmentům těla (chodidlům, bérce, stehnu, pánvi, hrudní kosti, ramenům, hlavě, pažní kosti, předloktí a rukám) pomocí pružných pásků.

Jednotlivé IMU jednotky jsou vybaveny 3D gyroskopy, 3D akcelerometry, baro senzorem a magnetometrem. Všechny jednotky jsou magneticky inertní a odolné vůči rušení ze strany průmyslových zdrojů - motory, stroje, prostor vozidla atd. Každý senzor komunikuje bezdrátově se základnovou jednotkou, ze které jsou pak data přenášena do počítače k dalšímu zpracování. K přenosu a záznamu informací z měření je použit patentovaný systém určený k přenosu dat při relativně nízké přenosové rychlosti, který zajišťuje přesnost vzorkování, synchronizaci dat, vysokou provozní odolnost a celkovou stabilitu výstupních dat [2, 4].

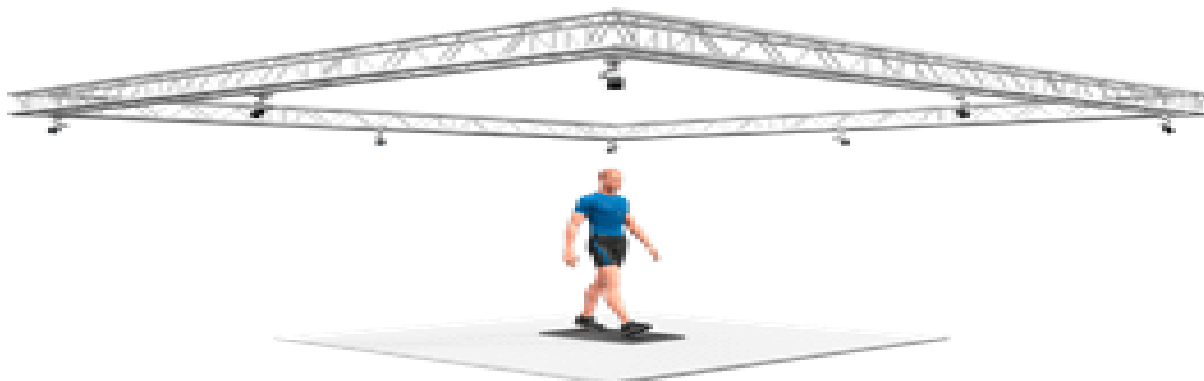
Získaná data o pohybu jsou zpracovávána pomocí speciálního Softwaru „MVN Analyze“. Základem SW řešení „MVN Analyze“ je pokročilý biomechanický model umožňující jak tvorbu 3D kinematického modelu lidského těla v reálném čase, tak i následnou komplexní analýzu získaných dat. Biomechanický a kinematický model pracují s reálnými tělesnými proporcemi měřeného subjektu, které je nutné do systému před měřením zadat. Systém MVN používá 23 segmentový biomechanický model s 22 „spojeními“ [5].

Před každým měřením je nutné provést kalibraci senzorů umístěných na těle měřeného subjektu. V průběhu kalibrace dochází k ověření činnosti a umístění jednotlivých senzorů, jejich identifikaci v prostoru a vůči každému tělesnému segmentu a nastavení jejich vzájemných vazeb.

„MVN analyze“ mimo jiné umožňuje nastavit řadu různých protokolů, které pak analytickému software předurčují způsob vyhodnocení dat. Nastavení jednotlivých protokolů je důležité jak pro zobrazení měřeného objektu v prostoru, tak i pro 3D kinematiku pohybu. Můžeme si zvolit měření na rovném povrchu (podlaha, pevné plochy), na pružném a nestabilním podkladě, pohyb v jedné nebo více úrovních (chůze po ploše, sed, lež, lezení na žebříku, chůze po

schodech, lezení v prostoru atd.) a jízda ve vozidle (ovládání vozidla). Digitálním záznam pohybu je možné v prostředí „MVN Analyze“ doplnit o obrazový záznam z kamery nebo mobilního telefonu.

Při použití Xsens systému tak máme k dispozici jak informace o postavení jednotlivých tělesných segmentů, tak i další informace o pozici, orientaci, zrychlení, rychlosti pohybu, úhlovém zrychlení, úhlové rychlosti atd. Pomocí „MVN Analyze“ můžeme na základě složitého matematického modelu v reálném čase sledovat 3D kinematický model měřené postavy jak z různých pohledů, tak i pomocí různých grafů a křivek [2, 5].



Obr. 3: Zobrazení pohybu sledované osoby společně s kamerovým záznamem pohybu [2]

Získaná pohybová data pak můžeme vzhledem k jejich přesnosti a rozsahu využít k dalším účelům jako například k:

- detailní analýze pohybu těla nebo pohybových vazeb,
- řadě ergonomických analýz,
- aplikacím v oblasti sportu,
- aplikacím v oblasti medicíny a rehabilitace (např. analýza chůze – GAIT Analysis),
- tvorbě filmů a herních aplikací,
- tvorbě VR a ARV aplikací atd. [5, 8, 10]

Možnosti využití Xsens MoCap technologie při analýze pohybové zátěže a tvorbě ergonomických analýz

Jak již bylo řečeno, informace získané pomocí systému MWN Xsens můžeme plně využít v oblasti analýzy pohybu, pohybové zátěže a ergonomie. Na základě informací o postavení jednotlivých tělesných segmentů v prostoru, jejich pohybu a vzájemných vazbách je možné vytvořit popis změn pohybových sekvencí a případných odchylek od obvyklého postavení nebo pohybového vzoru. Můžeme tak analyzovat například:

- postavení hlavy vůči trupu,
- nerovnoměrný pohyb končetin,
- špatné postavení krční páteře, ramen a pánve,
- odlišnosti v pohybu končetin,
- rozdíl kontaktu jednotlivých částí chodidla pravé a levé nohy,
- jednostranné zatížení některé z dolních končetin při pohybu se zátěží atd.

V současnosti existuje řada nadstavbových biomechanických a ergonomických softwarových nástrojů, který využívají otevřenosti systému Xsens, jako jsou např:

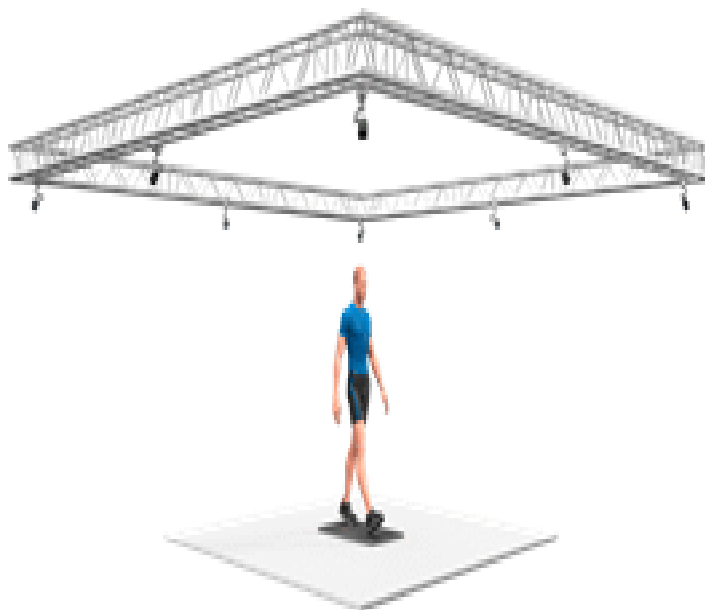
- Xsens Motion Cloud
- D-LAB

- C-Motion
- Siemens Jack PLM Software
- ViveLab Ergo
- Dassault Systemes
- Unity
- BoB - Biomechanics of Bodies

Pomocí těchto nástrojů můžeme provádět jak řadu pohybových a ergonomických analýz, tak i realizovat optimalizaci a návrhy nových pracovišť, která budou v souladu s požadavky správné praxe a ochrany zdraví.

Pomocí těchto rozšiřujících nástrojů můžeme realizovat jak například základní pohybovou analýzu chůze (Gait analysis), tak i řadu ergonomických [3] a optimalizačních analýz jako například:

- RULA
- ISO 11226:2000
- EN 1005-4+A1
- OWAS
- NASA-OBI
- SPAGHETTI DIAGRAM
- Analýza dostupnosti/ dosažitelnosti



Obr. 5: Příklady různých typů analýz - RULA, OWAS, Spaghetti, Analýza dosažitelnosti, RULA v kanceláři pomocí ViveLab Ergo [3]

Praktické využití Xsens MoCap technologie a nastavbových nástrojů pro analýzu pohybové zátěže a ergonomická hodnocení

V rámci projektu č. 04-2020-VUBP *Prevence muskuloskeletálních poruch v důsledku manipulace s břemeny - správná manipulace s břemeny u specifické vybrané skupiny zaměstnanců* jsme se právě s využitím technologie MoCap, 3D kinematické analýzy a pomocných nástrojů zaměřili na analýzu zátěže v souvislosti s výkonem pracovních činností. V souladu se stanovenými cíli projektu jsme hodnotili nejen konkrétní místa, ve kterých dochází k lokálnímu přetížení pohybového aparátu při výkonu pracovních činností, ale sledovali jsme širší souvislosti vlivů pracovní zátěže na tělo

jako celek. Tato analýza nám poskytla dostatek podkladů k tomu, abychom mohli ve spolupráci s dalšími odborníky na poruchy pohybového aparátu, rehabilitaci a lékaři pracovně lékařských služeb vytvořit informační materiály sloužící širší odborné a laické veřejnosti k lepšímu pochopení problematiky manipulace s břemeny a prevenci a odstraňování problematických činností.

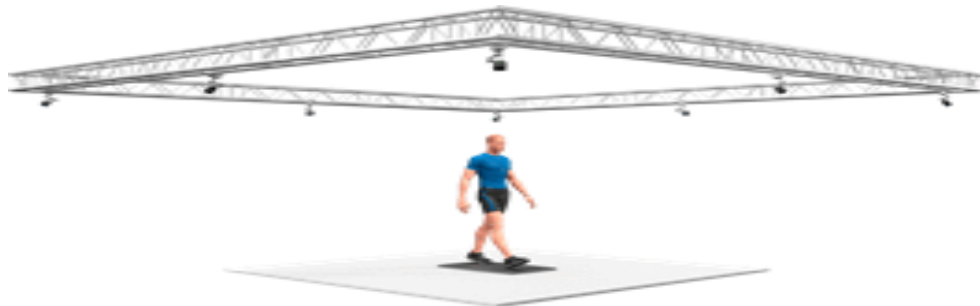
Pro ilustraci uvádíme jeden konkrétní příklad analýzy pracovní činnosti „Manipulace s materiálem pomocí manipulačního vozíku“. V našem konkrétním případě se jednalo o vozík s materiálem o váze 147 kg. Vykonávaná činnost trvala 19,9 sec a pracovník při výkonu činnosti urazil celkem 13,45 m. Obvyklý počet pracovních cyklů za 8hodinovou směnu je 65. Celá pracovní činnost byla zaznamenána v několika opakovaných cyklech pro zvýšení přesnosti analytického procesu.



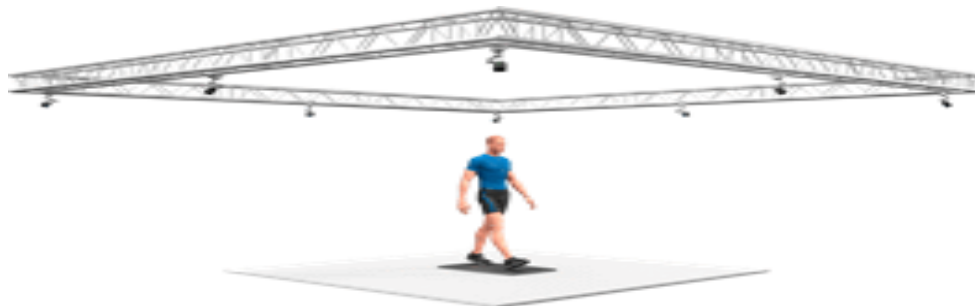
Obr. 6: Příklad přehledové RULA analýzy pomocí Xsens Motion Cloud [4]



Obr č. 7 - příklad detailní RULA analýzy pomocí ViveLab Ergo [4]



Obr. 8: Příklad detailní NASA analýzy pomocí ViveLab Ergo (4)



Obr. 9: Příklad detailní OWAS analýzy pomocí ViveLab Ergo (4)

Na základě provedených analýz byla navržena nápravná opatření ke zlepšení výkonu pracovní činnosti ve formě změny způsobu ovládání vozíku a rozmístění ovládacích prvků, změny množství a rozložení materiálu a úpravě pracovního postupu při výkonu pracovní činnosti.

Závěr

Na rozdíl od obecně užívaných metod „tužka/papír“ digitální záznamy výkonu pracovních činností pořízené pomocí MoCap technologie dosahují vysoké úrovně automatizace a přesnosti hodnotících procesů a umožňují komplexní hodnocení rizik pohybové zátěže a efektivity výkonu pracovní činnosti. Při hodnocení ergonomických rizik a efektivity výkonu pracovní činnosti se již nemusíme zaměřovat pouze na vybrané lokální parametry, ale můžeme analyzovat ergonomický systém jako celek. Získané digitální informace lze druhotně využít jak při tvorbě nápravných opatření, tak i v rámci komplexní prostorové a funkční simulace při optimalizaci a navrhování nových pracovišť nebo zvyšování výkonových parametrů jednotlivých pracovních činností. Vzhledem k současným technickým možnostem nejsme omezováni ani tak často diskutovanou absencí elektronické výkresové dokumentace aktuálního stavu pracovišť a výrobních prostor. Tento nedostatek můžeme relativně snadno vyřešit pomocí systému laserového skenování a následné digitální simulace.

Přesto, že moderní digitální technologie přináší obrovskou řadu výhod a možností je jejich rozšíření stále ovlivněno řadou faktorů, jako jsou poměrně nízká úroveň informovanosti široké technické a odborné veřejnosti o těchto technologiích a jejich možnostech, nutnost vzájemné spolupráce řady odborníků jako jsou ergonomové, techničtí pracovníci a specialisté na optimalizaci výrobních procesů a vyšší pořizovací náklady při individuálním pořízení systémů a analytických SW nástrojů.

MoCap technologie a navazující analytické nástroje se mohou uplatnit nejen v oblasti velkokapacitní průmyslové výroby, ale přináší vysokou přidanou hodnotu v podobě zvyšování efektivity práce, při navrhování a optimalizaci pracovních míst, zaškolování nových pracovníků, ochraně zdraví a péče o zaměstnance i pro malé a střední podniky.

Vzhledem k obsáhlosti tématu bychom se rádi v navazujícím článku věnovali jak dalším možnostem využití digitálních technologií v ergonomické praxi, tak i konkrétním příkladům jejich praktického využití, včetně výsledků analýz a návrhů nástrojů prevence v oblasti přetěžování nervosvalového aparátu.

Dedikace



©2021

Tento výsledek byl finančně podpořen z institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace na léta 2018–2022 a je součástí výzkumného úkolu **04-2020-VÚBP Prevence muskuloskeletálních poruch v důsledku manipulace s břemeny - správná manipulace s břemeny u specifické vybrané skupiny zaměstnanců**, řešeného Výzkumným ústavem bezpečnosti práce, v. v. i., ve spolupráci s HSEF s.r.o., v letech 2020–2021.

Literatura

[1] Motion Capture Wiki picture Optitrack

[2] Informační materiály společnosti Xsens

[3] Informační materiály společnosti Vivelab Ergo

[4] Informační materiály společnosti HSEF s.r.o.

[5] PAULICH, Monique ...[et al.]. Xsens MTw Awinda: Miniature Wireless Inertial-Magnetic Motion Tracker for Highly Accurate 3D Kinematic Applications: Technical report. *Xsens whitepapers* [online]. May 2018 [cit. 2021-12-16]. 9 s. Dostupný z: https://www.xsens.com/hubfs/3446270/Downloads/Manuals/MTwAwinda_WhitePaper.pdf.

[6] ROETENBERG, Daniel; LUNGE, Henk; SLYCKE, Per. Xsens MVN: full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors. *XsensTechnologies* [online]. 2009, no. 1 [cit. 2021-12-16]. Dostupný z: https://www.researchgate.net/publication/239920367_Xsens_MVN_Full_6DOF_human_motion_tracking_using_miniature_inertial

[7] ZHOU, H.; HU, H. Human motion tracking for rehabilitation: a survey. *Biomed Signal Process Control* [online]. 2008, vol. 3, s. 1-18 [cit. 2021-12-16]. Dostupný z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1746809407000778>

[8] PETROV, Alexey[et al.]. The use of XSens 3D motion tracking system for gait feature extraction. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science (ICISTIS 2019)*. January 2019 [cit. 2021-12-16]. Dostupný z: https://www.researchgate.net/publication/337708949_The_use_of_XSens_3D_motion_tracking_system_for_gait_feature_extraction

[9] LOOSE, Ha; ORLOWSKI, K.; AMANN, R. Inertial Measurement Units in Gait Analysis Applications: In: *Proceedings of the International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing (BIOSIGNALS-2015)*. S. 300-305. SCITEPRESS, 2015. Dostupný z: <https://www.scitepress.org/Papers/2015/52787/52787.pdf>. ISBN 978-989-758-069-7.

Vzorová citace

RÖHRICH, Martin; CIDLINOVÁ, Anna; KAPLAN, Zdeněk. Praktické využití digitálních technologií při analýze zátěže a prevenci MSD v důsledku manipulace s břemeny. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online]. 2021, roč. 14, č. 4. Dostupný z: <https://www.bozpinfo.cz/josra/prakticke-vyuziti-digitalnich-technologii-pri-analyze-zateze-prevenci-msd-v-dusledku>. ISSN 1803-3687.

Autor článku:

[Ing. Martin Röhrich](#)

[Ing. Anna Cidlinová, Ph.D.](#)

MUDr.
Zdeněk
Kaplan,
Ph.D.