

## Objektivizace efektu fyzioterapie s využitím virtuální reality na horní končetině u pacientů po cévní mozkové příhodě

### The efficiency of virtual reality based physiotherapy on upper limb mobility in stroke patients

Lucie Navrátilová<sup>1,2</sup>, Jana Havelková<sup>1</sup>, Tereza Katolická<sup>1</sup>, Dagmar Tečová<sup>1</sup>, Petra Bastlová<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ústav fyzioterapie, Fakulta zdravotnických věd, Univerzita Palackého, Olomouc, Česká Republika

<sup>2</sup>Oddělení rehabilitace, Fakultní nemocnice Olomouc, Olomouc, Česká Republika

#### ABSTRAKT

**Východiska:** Tradiční fyzioterapeutické přístupy u pacientů po cévní mozkové příhodě jsou v posledních letech doplňovány novými technikami na bázi robotiky i virtuální reality a přináší možnost aktivně a intenzivně trénovat komplexní pohyby v závislosti na potřebách pacienta.

**Cíl:** Zhodnotit efekt fyzioterapie na přístroji s využitím virtuální reality u pacientů po cévní mozkové příhodě a porovnat jej s konvenční fyzioterapií.

**Metody:** 16 probandů po ischemické cévní mozkové příhodě bylo rozděleno do dvou skupin – experimentální (využití virtuální reality) a kontrolní (konvenční fyzioterapie), u nichž probíhala terapie horní končetiny po dobu 2 týdnů (10 terapií po 30min). Pomocí klinických testů, dynamometrie a přístrojových testů zkoumaného přístroje jsme hodnotili rozdíly měřených parametrů. Pro zhodnocení dat jsme použili Wilcoxonův párový a Mann-Whitneyův test, hladina statistické významnosti byla stanovena na hodnotě  $p \leq 0,05$ .

**Výsledky:** U experimentální skupiny jsme zjistili signifikantní zlepšení u 6 z 6 parametrů, u kontrolní skupiny jsme dosáhli zlepšení u 2 z 6 sledovaných parametrů. Při porovnávání efektů terapií, tedy hodnot parametrů jednotlivých skupin navzájem jsme našli signifikantní změnu pouze u 1 parametru.

**Závěr:** Z výsledků experimentu je možné usuzovat, že terapie ve virtuálním prostředí se zdá být oproti konvenční terapii efektivnější, zlepšuje konkrétní dovednosti a funkce horní končetiny. Komparace obou terapií mezi sebou však nebyla statisticky významná.

#### ABSTRACT

**Background:** The importance of robotics and virtual reality has recently grown and complement traditional physiotherapeutic approaches. These new techniques offer the ability to train weakened movements only by adjusting to individual patient's needs.

**Aim:** To evaluate the effect of therapy using virtual reality on physiotherapy device in stroke patients and compare it to a conventional therapy.

**Methods:** We enrolled 16 post-stroke patients in our study and divided them into 2 groups – experimental (using virtual reality) and control group (using conventional therapy). We made a 10 sessions of upper limb therapy, each for 30 minutes, and then we evaluated the differences in the measured parameters using common clinical tests, dynamometry and tested device assessment. Wilcoxon pair and Mann-Whitney test was applied to evaluate the data. The significance level was set to 0.05.

**Results:** We found significant improvement in 6 of the 6 parameters in the experimental group and another significant improvement in 2 of the 6 parameters in the control group. Only one parameter has significant changed when statistical comparing the effects of those two interventions.

**Conclusion:** Findings of our study indicate that therapy in virtual reality seems to be more effective than conventional therapy, it improves the specific skills and functions of the upper limb. However, there were no statistically significant differences between the two therapies.

---

## KLÍČOVÁ SLOVA

cévní mozková příhoda; hemiparéza; horní končetina; kognitivní rehabilitace; virtuální realita; robotická terapie; fyzioterapie

## KEY WORDS

stroke; hemiparesis; upper limb; cognitive rehabilitation; virtual reality; robotic therapy; physiotherapy

---

## ÚVOD

Lidský mozek řídí veškeré činnosti člověka, tedy pohyby těla, smyslové orgány, myšlenkové procesy i emoce. Všechny části mozku jsou navzájem propojeny a dochází k jejich neustálé interakci. U pacientů po cévní mozkové příhodě (CMP) často nastává poškození oblastí souvisejících s motorickými a kognitivními funkcemi. V případě nejčastěji se vyskytujícího uzávěru mozkové tepny, arteria cerebri media (ACM), bývá nejvíce postižená oblast ruky a její manipulační funkce. Dominuje zde porucha hybnosti a citu (1). U řady nemocných po CMP s uzávěrem arteria cerebri media obvykle dochází k uspokojivé restituci posturálních funkcí a lokomoce, funkce horní končetiny (ruky) se však navrácí nejpозději. Oblast kortikální kontroly ruky patří právě k nejpозtíženějším oblastem mozku. Následně může být narušeno i tělesné schéma zahrnující prvky neglect syndromu a potlačeného používání ruky (2). Postižení horní končetiny (HK) po CMP je způsobeno svalovou slabostí, ztrátou pohybové kontroly, spasticitou a abnormálními synergii, které souvisí pravděpodobně se zvyšujícím se využitím subkortikálních oblastí. Dochází k narušení nejenom lokální svalové koordinaci, ale i k narušení koordinace mezi jednotlivými segmenty horní končetiny (3). Studie také ukazují, že pouze 5–20 % pacientů po CMP získá zpět původní funkci HK a pouze 6 % pacientů je spokojeno s funkcí postižené horní končetiny (1).

U pacientů po CMP se kromě motorických poruch objevují i kognitivní změny zahrnující poruchy pozornosti, orientace, paměti, myšlení, apraxie, agnózie, afázie nebo poruchy abstrakce. Školoudík et al. (4) uvádí, že určitý kognitivní deficit je přítomný až u 92 % pacientů v akutní fázi. Tito pacienti mají horší prognózu a také větší problémy s běžnými denními činnostmi (activities of daily living – ADL) (5). Kognitivní deficit však může být reverzibilní, u většiny pacientů dochází k úpravě do 3 měsíců po prodělaném iktu. Vliv na vznik kognitivního deficitu má hlavně věk, přítomnost infekce, stresu, přítomnost fatických poruch a také lokalizace léze (6). Uvedené projevy se nemusí vždy vyskytovat společně, může dojít jen k některým změnám a to i v různé kvalitě (7).

Po prodělané CMP dochází k určité spontánní úpravě ztracených funkcí. V prvních hodinách se stav zlepšuje v důsledku ústupu edému a návratu funkce neuronů z oblasti mimo vlastní nekrózu. V průběhu dnů až měsíců se stav zlepšuje v důsledku obsazení uvolněných synapsí po odumření axonů zničených mozkových neuronů a v důsledku aktivizace rezervních funkčních spojů. Úprava hybnosti může trvat několik měsíců, Votava (8) dokonce uvádí, že konečný výsledek bývá dosažen od 6 měsíců až do 5 let po prodělané atace.

Vedle diagnostického pokroku, daného zejména aplikací nových zobrazovacích metod, se podstatně rozšířily i možnosti včasné a účinné léčby a rehabilitace. Cílem rehabilitace (RHB) je podpora návratu mozkových funkcí a zabránění vzniku sekundárních změn. Úspěšnost léčby závisí na závažnosti postižení centrální nervové soustavy (CNS), na celkové kondici, rodinném zázemí, motivaci, věku pacienta a komorbiditě. Dále ji ovlivňuje včasnost a intenzita terapie, cílenost úkolů a multisenzorická stimulace pacienta. Zvláště prvních 6 měsíců po CMP hraje z hlediska obnovy CNS nejvýznamnější roli, proto je i v tomto období rehabilitace nejefektivnější. Konkrétní terapie s pacientem by pak měla být účelově orientovaná, přecházet formou i obsahem do běžných denních i pracovních činností a měla by zahrnovat multisenzorickou stimulaci (1). Repetitivní trénink motorických i kognitivních funkcí ovlivňuje nervové buňky, zvyšuje množství dendritů, formuje nová neuronální spojení a podporuje rozvoj důležité vlastnosti nervového systému – neuroplasticity (9). Jedná se o schopnost nervového systému měnit se v závislosti na vnitřních či vnějších podmínkách a to jak fyziologických (zátěž, nečinnost systému), tak patologických (poškození), nebo na zkušenostech a opakujících se podnětech (učení). Určité části mozku pak mohou přebírat ztracené funkce z jiných poškozených částí. Plasticita mozku je jedním z nejdůležitějších mechanismů vedoucích k uzdravení pacienta po iktu (6).

### Rehabilitace s využitím virtuální reality

Tradiční terapeutické postupy jsou v posledních letech s výhodou doplňovány novými technikami založený-

mi na robotické i virtuální terapii s cílem zlepšit především propriocepci a motoriku (10). Jejich nespornou výhodou je aktivní zapojení a větší motivace pacientů při terapii, která vhodně a účelně využívá prvky hry a různé aktivity denního života (2, 5). Terapii s využitím prvků virtuální reality (VR) chápeme jako proces znovu naučení motorických i kognitivních schopností, které byly pozměněny v důsledku poškození mozku po CMP. Terapie vedená ve virtuálním prostředí poskytuje příležitost k dosažení intenzivního tréninku snadným a častým opakováním komplexních funkčních pohybů se současným začleněním různých stimulačních podnětů v terapii (11), čímž se aktivují zbytkové motorické funkce, zlepšuje se rozsah pohybu a svalová síla. Cílem je dosažení funkčních změn posílením, upevněním nebo potvrzením dříve naučených vzorců chování, případně vytvořením nových vzorců činností, a tím i zlepšení schopnosti zvládat každodenní rutinní situace. Vhodně zvolená terapie v sobě kloubí nejen úpravu hybnosti, ale i obnovu kognitivních funkcí, jež jsou nutné pro kvalitní fungování senzomotorického systému. Je zaměřena na více jednotlivých funkcí kognice současně, které jsou navzájem propojeny a ovlivňují se (12). Například paměť souvisí s udržením pozornosti a exekutivními funkcemi. I v běžném životě je přirozené provádět několik aktivit současně, jako např. řídit auto a zároveň komunikovat se spolujezdcem. Takto paralelní aktivity se vzájemně ovlivňují, a vedou buď k lepšímu výkonu (vyšší kvalita činnosti) nebo horšímu výkonu (zpomalení provádění činnosti). Hovoří se o tzv. kognitivně motorické interferenci, která je významná pro ADL a k jejímuž zhoršení dochází právě u pacientů po CMP.

Mezi další výhody terapie na bázi virtuální reality patří schopnost individuálního nastavení v závislosti na potřebách konkrétního pacienta, možnost nastavení různé obtížnosti, schopnost objektivního měření pokroků a výsledků terapie a umožnění zpětné vazby. Specifické programy pak mohou být použity pro záchyt, kvantifikaci, vyhodnocování a ukládání dat. Zároveň je možné provádět analýzu výkonu z různých hledisek a poskytovat uživateli zpětnou vazbu v reálném čase (13). Kromě možnosti vyvolání externí stimulace – tedy např. iluze reálného prostředí s různými smyslovými informacemi – se předpokládá, že takto účelově orientovaný a specifický trénink spouští plastické změny CNS jako reakci na vnitřní stimulaci vyšších kortikálních center. Takto interaktivní kognitivní trénink ve virtuálním prostředí se zakládá na myšlence, že podráždění mozkových center zpracovávajících informace o pohybu aktivuje dolní kortikální oblasti mozku, které se právě podílejí na realizaci pohybu. Zde pak hraje klíčovou roli tzv. zrcadlové neu-

rony, které jsou aktivovány jak během pohybu, tak během pouhé myšlenky na příslušný pohyb (14).

VR forma terapie má své nesporné výhody, ale i nevýhody. Za nevýhodu virtuální reality je považována absence „normální“ taktilní zpětné vazby, která je zásadní z hlediska senzomotorických principů učení. Hovoří se také o přístrojově vedeném pohybu jakožto o pouhé napodobenině konkrétního reálného pohybu, který může zapříčinit určité nepřesnosti jak v samotném provedení pohybu, tak i v jeho plánování. Paradoxně i příliš vysoká úroveň asistence vedení pohybu přístroje může vést k nižší spoluúčasti pacientů při terapii a nemusí je podněcovat je k potřebné svalové aktivitě. Interakce a působení ve virtuálním prostředí může dále vyvolat tzv. motion sickness (pohybovou nevolnost) s příznaky dezorientace, posturální nejistoty, pocení, bolesti očí, nauzey apod. V neposlední řadě to mohou být problémy s rozlišením virtuálního světa a reality. Jsou známy i případy, kdy působení virtuální reality způsobuje úzkost (15).

### Popis přístroje

Zkoumaný přístroj je terapeutické i diagnostické zařízení s možností využití u pacientů se ztracenou nebo sníženou funkcí horních končetin. Hlavním cílem terapie je obnovit a zlepšit motorické funkce horní končetiny, tedy reedukovat stávající a nové pohybové vzorce a zlepšit koordinaci pohybů. Dílčími cíli jsou prevence sekundárních změn (spasticita, kontraktury) a snížení rizika ztráty svalové výkonnosti.

Jedná se o mechanický exoskelet horní končetiny určený pro pacienty se sníženými pohybovými schopnostmi, do kterého se oslabená (paretická) končetina položí. Systém mechanických pružin exoskeletu pak umožňuje odlehčit končetinu v gravitačním poli a zároveň dopomáhá při cíleném pohybu v rámci cvičení. Ve virtuálním prostředí se daný pohyb paretické končetiny zdá být optimální a v téměř fyziologickém rozsahu. Software pro funkční cvičení softwaru je vyvinutý tak, aby je bylo možné upravovat podle schopností pacienta jako základ optimální motivace.

Terapie zahrnuje jednoduchá jednorozměrná i komplikovaná trojrozměrná cvičení zaměřená např. na dosažení a uchopování objektů, případně i na jiné funkce a kvality pohybu horní končetiny podle aktuální potřeby pacienta a cíle terapie. Všechna funkční cvičení jsou nastavena a upravena dle stávajícího stavu pacienta v kalibrovaném pracovním prostoru. Terapie na tomto přístroji zároveň vyžaduje a předpokládá zapojení kognitivních funkcí do cvičení jako je např. vizuální percepce – rozpoznávání objektů a orientace v prostoru, pozornost, porozumění a řešení problémů.



Software pro hodnocení tvoří zvláštní skupina speciálně upravených cvičení za účelem analýzy schopností pacienta. Během hodnocících cvičení se veškeré relevantní úhly kloubů a polohy paže zaznamenávají a na základě těchto údajů se analyzuje kvalita a koordinace pohybu.



**Obrázek 1** Demonstrace terapie horní končetiny u pacienta po CMP s využitím virtuální reality

## CÍL PRÁCE

Cílem experimentu bylo zhodnotit efekt terapie na testovaném přístroji s využitím virtuální reality u pacientů po cévní mozkové příhodě s motorickým nebo senzitivním deficitem na horní končetině, porovnat výsledky přístrojové terapie na bázi virtuální reality s výsledky standardní terapie u pacientů po CMP.

## METODIKA

### Charakteristika testovaného souboru

Testovaný soubor byl tvořen 16 probandy po prodělané ischemické CMP v povodí a. cerebri media, 12 muži a 4 ženami. 11 probandů bylo s uzávěrem a. cerebri media (s klinicky manifestovanou levostrannou hemiparézou), 5 probandů s uzávěrem a. cerebri media vlevo (s pravostrannou hemiparézou). U 7 probandů byla postižená končetina dominantní, u 9 probandů

nedominantní. Do výsledného souboru byli zařazeni pacienti se spasticitou do stupně 3 dle modifikované Ashworthovy škály. Všichni probandi byli randomizovaně rozděleni do dvou skupin, experimentální (Tabulka 1) a kontrolní skupiny (Tabulka 2). Průměrný věk probandů v experimentální skupině dosahoval 65,13 ( $\pm 7,02$ ) let, průměrná doba od vzniku CMP byla 25 ( $\pm 7,416$ ) dní. Průměrný věk probandů v kontrolní skupině byl 63 ( $\pm 8,85$ ) let, průměrná doba od vzniku CMP byla 27,37 dní ( $\pm 6,56$ ) dní. U probandů se po dobu testování a realizace experimentu nevyskytoval žádný jiný neurologický deficit, žádné infekční onemocnění, febrilní stav nebo těžký kognitivní deficit, který by zamezoval spolupráci. Všichni probandi byli informováni o průběhu měření a podepsali písemný souhlas s účastí ve studii. Studie byla schválena Etickou komisí FZV UP v Olomouci pod číslem UPOL-6450/1040-2015 ze dne 22. 1. 2015.

**Tabulka 1** Charakteristika probandů experimentální skupiny

| Experimentální skupina |         |        |     |              |               |                          |
|------------------------|---------|--------|-----|--------------|---------------|--------------------------|
| Pacient                | Pohlaví | Ročník | Věk | Postižená HK | Dominantní HK | Doba od vzniku CMP (dny) |
| Proband 1              | žena    | 1945   | 70  | LHK          | PHK           | 33                       |
| Proband 2              | muž     | 1951   | 64  | PHK          | PHK           | 28                       |
| Proband 3              | muž     | 1954   | 61  | PHK          | PHK           | 23                       |
| Proband 4              | muž     | 1959   | 56  | LHK          | PHK           | 35                       |
| Proband 5              | muž     | 1939   | 76  | LHK          | PHK           | 21                       |
| Proband 6              | muž     | 1944   | 71  | LHK          | PHK           | 28                       |
| Proband 7              | žena    | 1958   | 57  | PHK          | PHK           | 19                       |
| Proband 8              | žena    | 1949   | 66  | LHK          | PHK           | 14                       |

Legenda: HK – horní končetina, PHK – pravá horní končetin, LHK – levá horní končetina, CMP – cévní mozková příhoda

**Tabulka 2** Charakteristika probandů kontrolní skupiny

| Kontrolní skupina |         |        |     |              |               |                          |
|-------------------|---------|--------|-----|--------------|---------------|--------------------------|
| Pacient           | Pohlaví | Ročník | Věk | Postižená HK | Dominantní HK | Doba od vzniku CMP (dny) |
| Proband 1         | muž     | 1957   | 58  | PHK          | PHK           | 21                       |
| Proband 2         | muž     | 1943   | 72  | LHK          | PHK           | 28                       |
| Proband 3         | muž     | 1946   | 69  | LHK          | LHK           | 27                       |
| Proband 4         | muž     | 1959   | 56  | LHK          | PHK           | 21                       |
| Proband 5         | muž     | 1962   | 53  | LHK          | LHK           | 39                       |
| Proband 6         | muž     | 1962   | 53  | PHK          | PHK           | 35                       |
| Proband 7         | žena    | 1946   | 69  | LHK          | PHK           | 25                       |
| Proband 8         | muž     | 1941   | 74  | LHK          | PHK           | 23                       |

Legenda: HK – horní končetina, PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, CMP – cévní mozková příhoda

### Popis průběhu měření

Probandi byli v rámci studie rozděleni do dvou skupin – experimentální a kontrolní. Terapie probíhala po dobu dvou týdnů (10 terapií, 30 min). Probandi zařazení do experimentální skupiny absolvovali terapii s využitím virtuální reality na testovaném přístroji, probandi z kontrolní skupiny absolvovali manuální fyzioterapii pro obnovu funkce horní končetiny. Jelikož byli probandi randomizovaně selektováni z Oddělení rehabilitace Fakultní nemocnice Olomouc, současně u nich probíhala terapie dle zvyklostí tohoto oddělení.

Na začátku a na konci experimentu byli probandi testováni pomocí standardizovaných klinických testů (*motorika*: Action Research Arm Test, Fugl-Meyer Motor Assessment; *kognitivní funkce*: Mini-Mental State Examination), dynamometrie a přístrojových testů („Vertikální chytání“ a „Čas reakce“) a výsledná data byla pečlivě zaznamenána. Použité klinické testy byly vybrány na základě jejich validity a reliability pro danou diagnózu (16). Testovány byly motorické, senzitivní a kognitivní funkce a síla stisku ruky probandů. Těmito testy jsme posuzovali rozdíly měřených parametrů na začátku a na konci experimentu mezi skupinami probandů. Pro minimalizaci nepřesností a chyb probíhalo testování ve stejnou denní dobu, ve stejné místnosti a se stejným terapeutem.

Měření pomocí dynamometru probíhalo vsedě. Rameno, předloktí a zápěstí spočívalo v neutrální pozici, v lokti je 90° flexe. Probandi uchopili dynamometr do postižené ruky a byli vyzváni o vyvinutí co největší síly stisku. Měření probíhalo třikrát po sobě a byl zaznamenán průměr těchto hodnot. Výsledná hodnota byla měřena v kilogramech (kg).

Přístrojové hodnocení probíhalo ve speciálních programech na testovaném zařízení. Jedná se o skupinu hodnotících cvičení, která slouží k vyhodnocení schopností probanda. Během hodnotících cvičení se všechny relevantní úhly kloubů a polohy paže snímají

ve vzorkovací frekvenci 100 Hz a ukládají se. Na základě těchto získaných údajů se analyzuje kvalita pohybu a typ koordinace. Přístroj hodnotí dva hlavní parametry „Hand Path Ratio“ (HPR) a „Reaction Time“ (RT). HPR slouží k vyhodnocení kvality pohybu pacienta. Hodnota je dána poměrem dráhy ruky pacienta k přímé vzdálenosti mezi zobrazovanými body. Získaná hodnota ukazuje rozsah, o který se pacient odchyluje od ideální dráhy. Dokonale přímý pohyb má hodnotu 1, hodnota 2 znamená, že dráha ruky pacienta byla dvakrát delší než vzdálenost mezi předměty. Parametr RT je měřen u testu „Čas reakce“, kdy software měří čas mezi momentem objevení se příslušného objektu, na který proband musí zareagovat a momentem jeho konkrétní motorické reakce. Dále hodnotí čas mezi momentem zmizení objektu a momentem probando-va návratu do původní pozice.

### Zpracování dat

Naměřená data příslušných parametrů byla nejprve převedena do programu Microsoft Excel 2016, kde byla také provedena základní popisná statistika testovaných souborů. K následnému vyhodnocení a statistickému zpracování dat byl použit software Statistica CZ, verze 12. Ke zjištění efektu terapie s využitím virtuální reality (tedy experimentální skupiny) a efektu terapie u kontrolní skupiny byl použit Wilcoxonův párový test. Hladina statistické významnosti u jednotlivých skupin probandů byla stanovena na hodnotě  $p \leq 0,05$ . Porovnávali jsme i rozdíl obou terapií navzájem pomocí Mann-Whitneyova testu. Hladina statistické významnosti byla taktéž stanovena na hodnotě  $p \leq 0,05$ . Výsledky byly následně znázorněny pomocí kvartilových krabicových grafů.

### VÝSLEDKY

Konkrétní výsledky statistické významnosti pro sledované parametry u experimentální a kontrolní skupiny probandů jsou uvedeny v tabulce 3. Zjišťovali jsme zde

efekt virtuální reality terapie nejdříve u experimentální skupiny, tedy rozdíl výsledků jednotlivých parametrů při vstupním a výstupním měření a poté i efekt konvenční terapie u kontrolní skupiny.

V terapii využívající virtuální realitu, tedy u probandů zařazených do experimentální skupiny, jsme zjistili signifikantní zlepšení u šesti z šesti sledova-

ných parametrů. V terapii u kontrolní skupiny jsme dosáhli signifikantního zlepšení u dvou z šesti sledovaných parametrů, tři další (ARAT, MMSE a Síla úchopu) se blížily hladině statistické významnosti hodnotou  $p = 0,068$ . U parametru Hand Path Ratio (HPR) jsme nezaznamenali téměř žádné zlepšení u kontrolní skupiny probandů.

**Tabulka 3** Hodnoty statistické významnosti pro jednotlivé parametry u experimentální a kontrolní skupiny probandů

| Experimentální skupina       | p-hodnota | Kontrolní skupina            | p-hodnota |
|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|
| ARAT (před a po thp.)        | 0,018*    | ARAT (před a po thp.)        | 0,068     |
| FMA - UE (před a po thp.)    | 0,018*    | FMA - UE (před a po thp.)    | 0,012*    |
| Síla úchopu (před a po thp.) | 0,018*    | Síla úchopu (před a po thp.) | 0,068     |
| RT (před a po thp.)          | 0,012*    | RT (před a po thp.)          | 0,012*    |
| HPR (před a po thp.)         | 0,012*    | HPR (před a po thp.)         | 0,779     |
| MMSE (před a po thp.)        | 0,028*    | MMSE (před a po thp.)        | 0,068     |

*Legenda:* ARAT – Action Research Arm Test, FMA-UE – Fugl-Meyer Motor Assessment for Upper Extremity, RT – Reaction Time, HPR – Hand Path Ratio, MMSE – Mini Mental State Examination

Cílem naší práce však bylo zjistit a zhodnotit efekt terapie na daném přístroji (u experimentální skupiny) a porovnat výsledky se standardní terapií u pacientů po CMP. Příslušné změny parametrů v jednotlivých skupinách jsme porovnali mezi oběma skupinami. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.

Při porovnávání hodnot u parametrů jednotlivých skupin probandů byla signifikantní změna pouze u parametru Hand Path Ratio (HPR). Parametr Síla úchopu se blížil hladině statistické významnosti hodnotou  $p = 0,074$ , ostatní parametry dosahovaly různých hodnot.

Kvartilové krabicové grafy (Graf 1–6) zobrazují rozložení hodnot efektu experimentální a kontrolní terapie u sledovaných parametrů. Jejich  $p$  hodnoty pak shrnuje tabulka 4.

**Tabulka 4** Hodnoty statistické významnosti pro jednotlivé parametry mezi skupinami

| Efekt terapií | p-hodnota |
|---------------|-----------|
| ARAT          | 0,115     |
| FMA - UE      | 0,916     |
| Síla úchopu   | 0,074     |
| RT            | 0,637     |
| HPR           | 0,031*    |
| MMSE          | 0,318     |

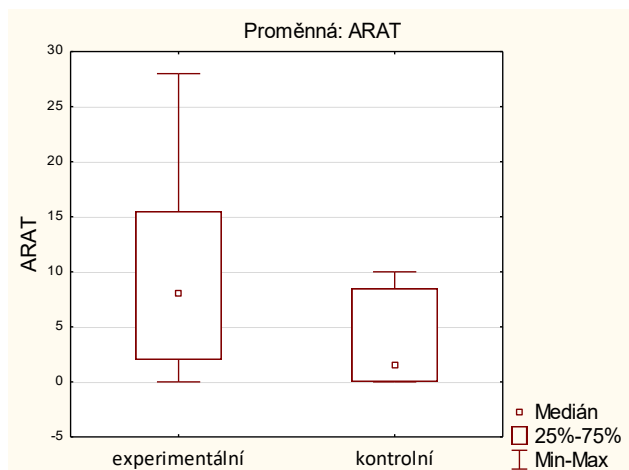
*Legenda:* ARAT – Action Research Arm Test, FMA-UE – Fugl-Meyer Motor Assessment for Upper Extremity, RT – Reaction Time, HPR – Hand Path Ratio, MMSE – Mini Mental State Examination.

Statisticky významná porovnání na hladině  $p \leq 0,05$  jsou označena \*.

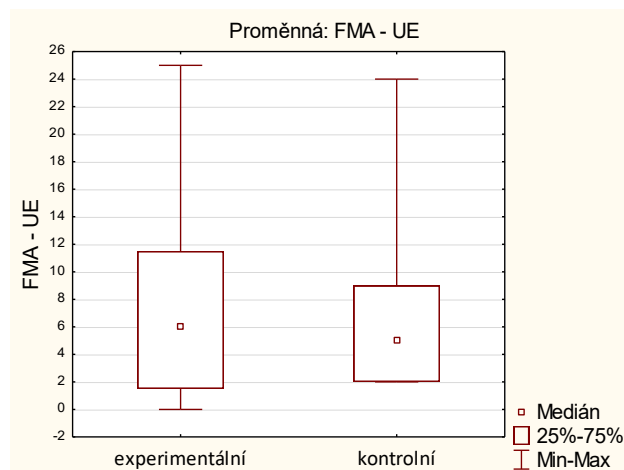
## DISKUZE

Rozvinutím cévní mozkové příhody dochází k širokému spektru funkčních poruch. Nedochází pouze k motorickému, ale i ke kognitivnímu a senzitivnímu poškození. Funkční úprava po CMP nastává díky neuroplasticitě, která je podněcována kvalitní péčí zdravotnického personálu a správně zvolenou intenzivní individuální terapií (17). V posledních letech dochází k přirozenému rozšiřování a začleňování nových terapeutických přístrojů do fyzioterapeutické praxe, proto je potřeba jejich účinky a praktické využití neustále ověřovat. Přístroje na bázi virtuální reality nacházejí uplatnění mmj. u široké skupiny pacientů po CMP, u kterých je kladen důraz na trénink motorické kontroly s využitím externí stimulace.

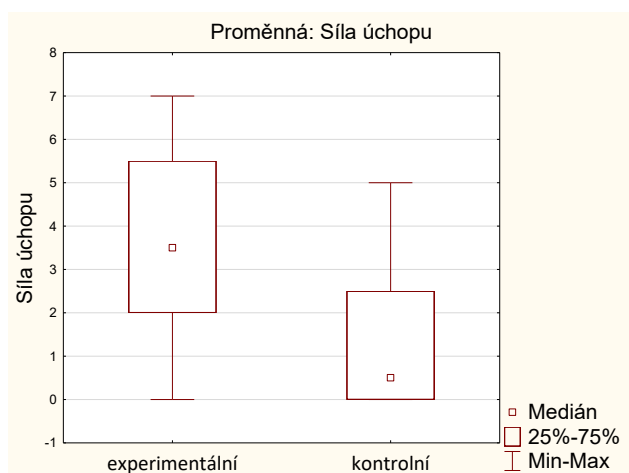
Z našich výsledků jsme při separovaném porovnání efektů zkoumaných terapií zjistili více signifikantních změn parametrů u experimentální skupiny probandů než u kontrolní skupiny probandů a to jak klinickými testy, tak přístrojovými parametry, silou stisku a kognitivním testem (Tabulka 3). Z tohoto pozorování se dá usoudit, že probandi využívající danou přístrojovou terapii dosahují lepších výsledků než probandi z kontrolní skupiny a to v různých dovednostech a funkcích horní končetiny dle vybraných testů. Detekovali jsme u nich rychlejší reakce, koordinovanější a obratnější pohyby a měli větší sílu stisku ruky. V souladu s výsledky tohoto experimentu jsou i výsledky kolektivů autorů Feyse a Gijbelse (18, 19), kteří navíc poukazují na výrazné zlepšení motoriky horní končetiny u pacientů s horší počáteční hybností končetiny, kdy je potenciál úpravy funk-



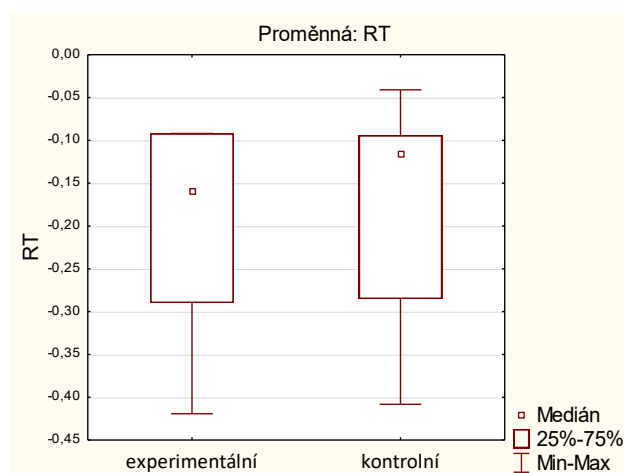
**Graf 1** Změna parametru Action Research Arm Test



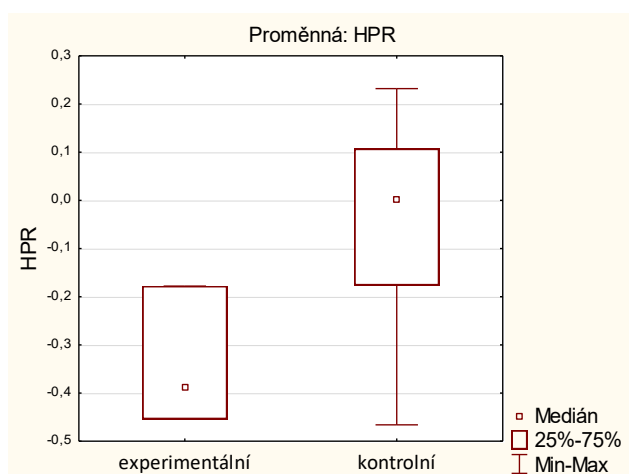
**Graf 2** Změna parametru Fugl-Meyer Motor Assessment for Upper Extremity



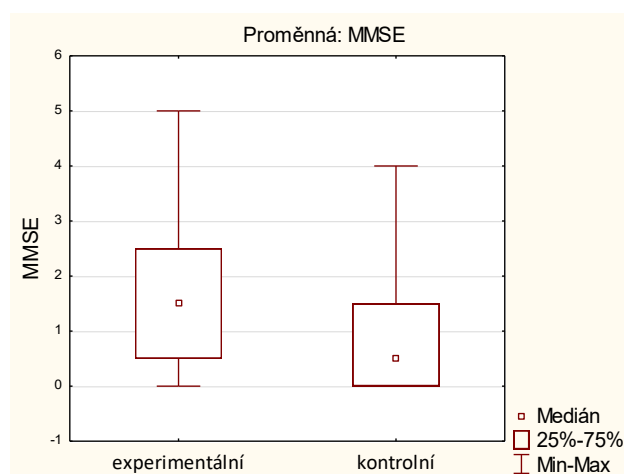
**Graf 3** Změna parametru Síla úchopu



**Graf 4** Změna parametru Reaction Time



**Graf 5** Změna parametru Hand Path Ratio



**Graf 6** Změna parametru Mini Mental State Examination



ce přirozeně největší. Vyzdvihují také subjektivní vnímání zlepšení hybnosti končetiny probandů a to hlavně při ADL. Pokud se ale zaměříme na výsledky testu FMA – UE, jenž je mnohými autorů považován za nejpoužívanější test pro měření volní hybnosti, úchopové funkce, koordinace i reflexní aktivity paretické paže po CMP (16), nacházíme téměř totožné signifikantní výsledky jak u experimentální, tak u kontrolní skupiny probandů. Kladným zjištěním tedy zůstává, že i přístrojová terapie zkoumaného přístroje, kterému chybí podpora senzitivních funkcí (20), je srovnatelná s kvalitní standardní manuální fyzioterapií. Hybnost paretické končetiny u probandů jsme hodnotili i přístrojovými testy daného zařízení. Parametr HPR se zaměřuje na schopnost pacienta dosáhnout v definovaném virtuálním prostředí a ve stanoveném čase určitý předmět. Hodnotí dráhu pohybu horní končetiny, která by měla být v „ideálním případě“ téměř lineární. Prostřednictvím tohoto testu získáváme informace především o koordinaci a přesnosti provedení pohybu. V porovnání efektů terapií jsme dosáhli signifikantních změn u experimentální skupiny probandů. Vysvětlením může být umístění paže v exoskeletu v určité pozici s nadlehčením, kdy se probandi během tréninku mohou více soustředit na provedení a zacílení pohybu než na samotné udržení horní končetiny vůči gravitaci, což výrazně přispívá koordinaci a plynulejšímu nácviku pohybu. Pozitivně zde působí i bezprostřední zpětná vazba určující úspěšnost dosažení předmětu. S výsledky našeho zkoumání se shodují např. studie autorů Gijbelse a Zimmerliho (19, 21) jež potvrzují, že využití virtuální reality má významný efekt na rychlost a přesnost pohybu při cílení na dané objekty. Také Johansson (22) ve své studii uvádí, že prostřednictvím terapie na bázi VR dochází ke zlepšení pozornosti, přesnosti, rychlosti pohybu a timingu. Ve studiích Bartola, Jarrassého a Gijbelse (1, 3, 19) bylo dále zjištěno, že antigravitační podpora exoskeletem zvětšuje rozsah pohybu, zlepšuje linearitu pohybu, koordinaci, redukuje patologické souhyby a pozitivně ovlivňuje kvalitu ADL, což koresponduje s našimi výsledky. Uvádí se také, že robotická terapie s využitím virtuální reality zaměřená na horní končetinu u pacientů v chronické fázi po CMP zvyšuje aktivitu senzomotorického kortexu u trénovaných funkcí a reorganizaci příslušných motorických map (23). Další přístrojový parametr RT zaznamenává časové údaje o zobrazení různých předmětů na obrazovce a časové údaje o zahájení pohybu paretické paže směrem k příslušnému předmětu. V porovnání rozdílů mezi jednotlivými intervencemi jsme opět pozorovali totožné signifikantní výsledky jak u experimentální, tak u kontrolní skupiny probandů.

Pro hodnocení kognitivních funkcí, jež nám umožňují zpracovávat a reagovat na příchozí vjemy a jsou tedy nutností pro kvalitní fungování senzomotorického systému, jsme zvolili nejčastěji používaný a jednoduchý test MMSE (16). Z výsledků můžeme pozorovat zlepšení kognitivních funkcí u experimentální skupiny probandů. Vysvětlujeme si to aktivní participací a interakcí pacienta s prostředím za současné přítomnosti zpětné vazby, jež virtuální realita umožňuje. Jsou zde zcela vhodně propojeny kognitivní funkce s hybností horní končetiny pomocí nácviku dvou úkolů současně (tzv. „dual task activities“). Švingalová (24) dále dochází k závěru, že kognitivní funkce jsou spojeny i s úrovní vzdělání. Zlepšení kognice tedy může souviset s původním stavem inteligence a dosaženým vzděláním, jež jsme ve výzkumu nezohledňovali, s pozorností, představivostí a schopností učit se. Kolektiv autorů studie McEwena (25) shrnuje poznatky z řady studií, které potvrzují, že zlepšením kognitivních funkcí může pacient lépe chápat a porozumět terapii, vytvořit si kvalitní plán a představu o provedení a uskutečnění aktivity. Kognitivní trénink je doporučován jako cílený a vědomě řízený proces, který umožňuje nabývat požadované dovednosti.

V následné statistické komparaci obou skupin se nepotvrdil statisticky významný rozdíl. Nalezli jsme pouze jednu signifikantní změnu a to u přístrojového parametru HPR (tabulka 4). K tomuto výsledku jsme kritičtí, jelikož si uvědomujeme skutečnost, že pacienti docházející na každodenní přístrojovou terapii mohli výsledné vyšetření (parametr HPR) zvládat lépe už z prostého návyku na daný přístroj. Je také nutné poznamenat, že sledovaná i kontrolní forma terapie probíhala jako doplňková součást rehabilitačního procesu za současné denní intenzivní fyzioterapie na lůžkovém rehabilitačním oddělení Fakultní nemocnice Olomouc. Experimentální i kontrolní soubor probandů sice absolvoval stejnou formu i intenzitu terapie „v základu“ mimo naši studii, není však možné přesně posoudit, do jaké míry jsou výsledky ovlivněny průběhem komplexní rehabilitační péče. Můžeme jen souhlasit se závěry výše zmiňovaných autorů a potvrdit, že kýžené pozitivní výsledky přináší synergický efekt kombinace obou – tedy konvenční fyzioterapie a terapie na bázi virtuální reality, který byl pozorován u experimentální skupiny. Limitujícím faktorem práce může být i malý vzorek probandů účastnících se testování, na kterém je obtížné prokázat statisticky signifikantní výsledky. Dochází zde k ovlivnění celkových výsledku „extrémními výkyvy“ jednotlivých pacientů. Pro objektivizaci dlouhodobých výsledků terapie by bylo dále přínosné zařadit ještě jedno nebo i dvě kontrolní měření s určitým časovým odstupem, např. jednoho a tří měsíců po ukončení terapie.



## ZÁVĚR

Robotická zařízení se neustále vyvíjejí a zdokonalují a jejich terapeutické účinky je třeba zkoumat a ověřovat konkrétními výzkumy. V souvislosti s výsledky naší studie lze obecně konstatovat, že přístrojová terapie na principu virtuální reality je vhodným nástrojem a doplňkem repertoáru standardní fyzioterapie, má svůj neodmyslitelný potenciál a do budoucna by se pro pacienty po prodělaných iktech mohla stát mnohem dostupnější. Výsledný synergický efekt virtuálně vedené terapie a standardní terapie umožňuje pacientům dosáhnout lepších výsledků, a to zejména při jejich současném zaměření na motorické a kognitivní funkce. Podpoří se tím jejich rychlejší zotavení a kvalitnější návrat do běžného života, což je i hlavním cílem rehabilitace.

## REFERENČNÍ SEZNAM

1. Bartolo M, De Nunzio A, Sebastiano F, Tortola P, Nilsson J, Pierelli F. 2014. Arm weight support training improves functional motor outcome and movement smoothness after stroke. *Funct Neurol*. 2014 Jan-Mar;29(1):15-21.
2. Mayer M, Hlušík P. Ruka u hemiparetického pacienta. *Rehabilitácia*. 2004; 41(1):9-13.
3. Jarrassé N, Proietti T, Crocher V, Robertson J, Shbani A, Morel G, Roby-Brami A. Robotic exoskeletons: a perspective for the rehabilitation of arm coordination in stroke patients. *Front Hum Neurosci*. 2014 Dec 1;8:947.
4. Školoudík D, Fadrná T, Ressler P, Bar M, Zapletalová O, Šaňák D, Herzig R, Kaňovský P. Changes in cognitive functions in patients with acute cerebrovascular event who tested by Mini-Mental State Examination and the Clock Drawing Test. *Cesk Slov Neurol N*. 2007; 70/103(4):382-387.
5. Laver KE, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*. 2011 Sep 7;(9):CD008349.
6. Kalvach P. Mozkové ischemie a hemoragie. Praha: Grada; 2010.
7. Kalita Z. et al. Akutní cévní mozkové příhody: diagnostika, patofyziologie, management. Praha: Maxdorf; 2006.
8. Votava J. Rehabilitace osob po cévní mozkové příhodě. *Neurol. pro Praxi*. 2001;4:184-189.
9. Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *J Speech Lang Hear Res*. 2008 51(1):S225-239.
10. Weiss P, Kizony R, Feintuch U, Katz N. Virtual reality in neurorehabilitation. In: Selzer M, Clarke S, Cohen L, Duncan P, Gaze F. *Textbook of Neural Repair and Rehabilitation*. United Kingdom: Cambridge University Press; 2006.
11. Levin MF, Weiss PL, Keshner EA. Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: incorporation of motor control and motor learning principles. *Phys Ther*. 2015;95(3):415-25.
12. Beck A. Kognitivní terapie a emoční poruchy. Praha: Portál; 2005.
13. Yang X. Virtual Reality in Rehabilitation. In: Yang X. *Rehabilitation Engineering*. Shanghai: InTech; 2009.
14. Schuster-Amft C, Eng K, Lehmann I, Schmid L, Kobashi N, Thaler I, Kiper D. Using mixed methods to evaluate efficacy and user expectations of a virtual reality-based training system for upper-limb recovery in patients after stroke: a study protocol for a randomised controlled trial. *Trials*. 2014 Sep 6;15:350.
15. Andrae MH. Virtual reality in rehabilitation. *BMJ*. 1996 Jan 6;312(7022):4-5.
16. Bastlová P, Jurutková Z, Tomsová J, Zelená A. Výběr klinických testů pro fyzioterapeutu. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci; 2015.
17. Kwakell G, Wagenaar R, Twisk J, Lankhorst G, Kotsier J. Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: a randomised trial. *Lancet*. 1999 Jul 17;354(9174):191-6.
18. Feys P, Coninx K, Kerkhofs L, De Weyter T, Truyens V, Maris A, Lamers I. Robot-supported upper limb training in a virtual learning environment: a pilot randomized controlled trial in persons with MS. *J Neuroeng Rehabil*. 2015 Jul 23;12:60.
19. Gijbels D, Lamers I, Kerkhofs L, Alders G, Knippenberg E, Feys P. The Armeo Spring as training tool to improve upper limb functionality in multiple sclerosis: a pilot study. *J Neuroeng Rehabil*. 2011 Jan 24;8:5.
20. Colomer C, Baldovi A, Torromé S, Navarro MD, Moliner B, Ferri J, Noé E. Efficacy of Armeo® Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis. *Neurologia*. 2013 Jun;28(5):261-7.
21. Zimmerli L, Krewer C, Gassert R, Müller F, Riener R, Lunenburger L. Validation of a mechanism to balance exercise difficulty in robot-assisted upper-extremity rehabilitation after stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2012 Feb 3;9:6.
22. Johansson BB. Current trends in stroke rehabilitation. A review with focus on brain plasticity. *Acta Neurol Scand*. 2011 Mar;123(3):147-59.

23. Takahashi C, Der-Yeghiaian L, Le V, Motiwala R, Cramer S. Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain*. 2008 Feb;131(Pt 2):425-37.
24. Švingalová D. Kapitoly z psychologie – 1. díl. Liberec: Technická univerzita; 2005.
25. McEwen S, Huijbregts M, Ryan J, Polatajko H. Cognitive strategy use to enhance motor skill acquisition post-stroke: a critical review. *Brain Inj*. 2009 Apr;23(4):263-77.

#### KONTAKT NA HLAVNÍHO AUTORA

Mgr. et Mgr. Lucie Navrátilová  
Ústav fyzioterapie, Fakulta zdravotnických věd,  
Univerzita Palackého v Olomouci,  
Oddělení rehabilitace, Fakultní nemocnice  
Olomouc  
I. P. Pavlova 6, Olomouc, 779 00  
L.Navratilova@upol.cz  
(+420) 737 445 284