

# ODWZOROWANIE STĘPA KONIA W MECHANICZNYM SIODLE DO HIPOTERAPII

Alicja Dziuba

*Katedra Biomechaniki, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu*

## 1 WSTĘP

Przedmiotem pracy doktorskiej jest zbadanie ruchów urządzenia mechanicznego, odwzorowującego ruchy grzbietu konia w stępie, wykorzystywanego do uzupełniania ćwiczeń z hipoterapii dzieci z porażeniem mózgowym. Hipoterapia jest terapią z użyciem konia, korzystnie wpływającą na poprawę stanu zdrowia ludzi z chorobą fizyczną lub psychiczną.

We Wrocławiu żyje ponad 1000, a w całej Polsce ponad 50 000 dzieci z porażeniem mózgowym. Praktyka rehabilitacyjna dotychczas stosowana oraz częściowo badania własne potwierdzają pozytywny wpływ hipoterapii na zdrowie dzieci z porażeniem mózgowym.

Lekarze i fizjoterapeuci uważają, że na poprawę stanu zdrowia dziecka mają wpływ takie czynniki, jak: dotyk konia, jego zapach oraz pole magnetyczne i ruchy. Bierze się przy tym pod uwagę różne szczegółowe aspekty ruchu. Na przykład jazda na koniu zmniejsza spastyczne napięcie mięśni, poprawia zdolność odwodzenia ud [11], pomaga w doskonaleniu symetrii ruchów, wzmacnia kontrolę utrzymania równowagi i rozwija właściwe reakcje motoryczne [1].

D. Lafone [10], fizjoterapeutka z Fulmer Riding School w Slough, w Wielkiej Brytanii napisała: „Jazda na koniu zmniejsza spastyczne napięcie mięśni, doskonali symetrię ruchów, stymuluje kontrolę tułowia podczas utrzymania równowagi i rozwija właściwe reakcje motoryczne, daje poczucie ruchu i niezależności od wózka inwalidzkiego.”

Istnieje wiele obserwacji i opinii mówiących, że ruchy grzbietu konia i ruchy obręczy biodrowej człowieka podczas chodu są ze sobą

porównywalne, a obręcz biodrowa osoby siedzącej na idącym stępem koniu wykonuje podobne ruchy, jak podczas normalnego chodzenia [12]. Chód wymaga również opanowania pozycji pionowej, czyli utrzymywania równowagi. Podobnie jest podczas jazdy na koniu. Jadący musi starać się utrzymywać równowagę i w tym celu angażuje większość swoich mięśni, czyli mięśnie ud, obręczy biodrowej, tułowia, a nawet szyi. Stąd wniosek, że hipoterapia ma pośredni wpływ na opanowanie nawyków ruchowych prawidłowego chodu.

Pomimo dobroczynnego wpływu jazdy konnej na dzieci z porażeniem mózgowym, w zajęciach z hipoterapii wciąż uczestniczy niewielka ich liczba. Sytuacja w Polsce nie jest zresztą wyjątkowa. Ograniczenia w stosowaniu hipoterapii na szerszą skalę wynikają z dużych kosztów utrzymania konia oraz konieczności zaangażowania dużej liczby osób w proces leczenia. Przy czym dla osiągnięcia najlepszych wyników terapii konieczne jest prowadzenie zajęć codziennie. W tej kwestii opinie fizjoterapeutów są zgodne.

Spostrzeżenia te doprowadziły do powstania idei skonstruowania siodła<sup>6</sup> (rys. 1) naśladującego ruchy konia, które miałyby uzupełniać zajęcia prowadzone z koniem i oddziaływać na jeźdźca tylko ruchem.

---

<sup>6</sup> Mechaniczne siodło BABS powstało we współpracy Katedry Biomechaniki Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu z Instytutem Bioinżynierii na Uniwersytecie imienia Brunela w Zachodnim Londynie, przy wsparciu Komitetu Badań Naukowych i British Council (grant nr 669/DZ/95).



Rys. 1. Siodło BABS – prototyp.

W rozprawie doktorskiej przedstawiono wyniki kinematycznej [5] i statystycznej analizy ruchów grzbietu konia w stępie, ruchów siodła BABS (Brunel Active Balance Saddle) oraz ruchów obręczy biodrowej dziecka idącego i siedzącego na siodle BABS [4]. Wyniki analizy ruchu konia w stępie zostały wykorzystane na Uniwersytecie w Londynie, gdzie skonstruowano prototyp siodła. Siodło w 1996 roku przywieziono do Wrocławia, gdzie poddano je badaniom służącym jego dalszemu doskonaleniu [2, 8].

Celem pracy była ocena podobieństwa kinematyki ruchu grzbietu konia i siodła BABS, a także oddziaływania siodła na ruchy zdrowego dziecka „jadącego” na siodle. Uzupełnieniem powyższego celu było również zbadanie podobieństwa wybranych ruchów obręczy biodrowej dziecka „jadącego” na siodle do ruchów dziecka idącego.

Wyniki pracy miały stanowić punkt wyjścia do oceny wpływu ruchów siodła na motorykę dziecka. Mają też posłużyć do sformułowania zalecenia stosowania siodła jako urządzenia uzupełniającego w terapii dzieci z porażeniem mózgowym. Zrealizowanie tego celu powinno przyczynić się do racjonalizacji procesu hipoterapii poprzez, z jednej strony przyczynienie się do trafnego doboru parametrów konia do hipoterapii, z drugiej – zarekomendowanie urządzenia w postaci siodła BABS jako uzupełnienia hipoterapii naturalnej.

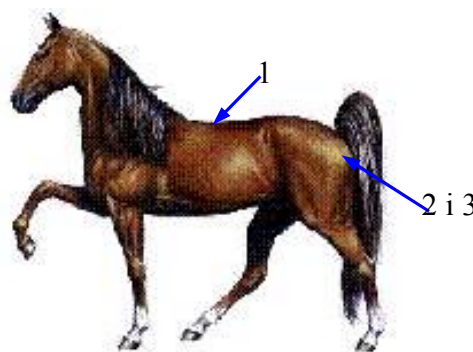
## 2 METODA POMIAROWA

Do rejestracji ruchu konia i siodła zastosowano trójwymiarową metodę filmową (video). Cała procedura obejmowała dwa etapy:

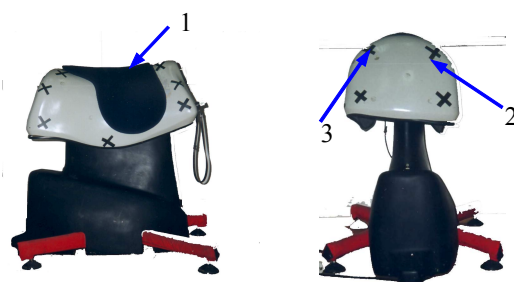
1 filmowanie - podstawą do uzyskania rzetelnych wartości przemieszczeń liniowych i kątowych ruchu w metodzie filmowej jest

prawidłowe ustawienie i dobranie planu filmowego. Dwie kamery video o częstotliwości filmowania  $f=50$  Hz, które obejmowały jednocześnie jeden cykl ruchu obiektu (konia w stępie, ruch siodła BABS, dziecko podczas chodu oraz układ odniesienia) oraz rejestrowały te same punkty zaznaczone na obiekcie; kąt między ich osiami optycznymi był mniejszy niż  $90^\circ$ ,

2 pozyskiwanie danych pierwotnych i pochodnych techniką komputerową. Do przetworzenia danych pierwotnych zastosowana została kinematyczna metoda analizy ruchu punktów obiektu. W tym celu użyto pakietu komputerowego VIDANA, a w późniejszym etapie systemu komputerowego Videomaniak, które posłużyły do znalezienia współrzędnych punktów i ich wstępnego opracowania. Procedura składała się z digitalizacji i wyznaczenia współrzędnych  $x$ ,  $y$ ,  $z$  punktów w funkcji czasu i ustalenia czasu pełnego cyklu oraz poszczególnych faz. Metoda matematyczna obliczania trzeciej współrzędnej wykorzystana w badaniach nazywa się Direct Linear Transformation (DLT) opracowana w 1971 roku przez Abdel-Aziz i Karara, opisana również przez Woltringa [3].



Rys. 2. Punkty analizowane na ciele konia.



Rys. 3. Punkty analizowane na siodle BABS.

### 3 MATERIAŁ BADAWCZY

Do właściwej analizy wybrano następujące punkty na ciele konia (rys. 2) i na siodle BABS (rys. 3): w najniższym punkcie na grzbiecie, (punkt nr 1), kołec biodrowy tylny górny prawy (punkt nr 2) oraz kołec biodrowy tylny górny lewy (punkt nr 3).

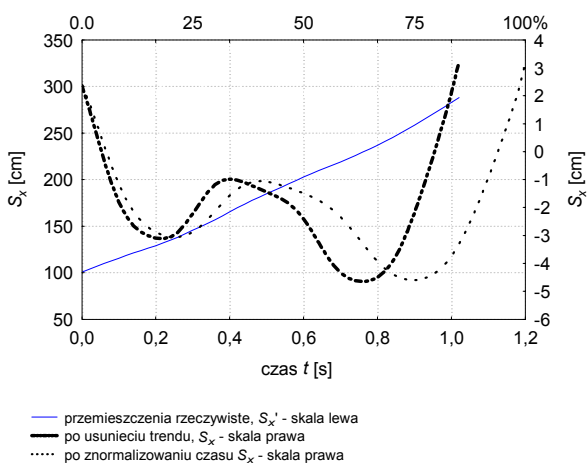
### 4 WYNIKI BADAŃ

Stęp konia jest chodem czterotaktowym [9]. Biorąc pod uwagę przenoszenie kończyny (brak kontaktu tej kończyny z podłożem) w jednym cyklu wyróżniono następujące fazy:

- 1 brak kontaktu kończyny lewej przedniej z podłożem (LP),
- 2 brak kontaktu kończyny prawej tylnej z podłożem (PT),
- 3 brak kontaktu kończyny prawej przedniej z podłożem (PP),
- 4 brak kontaktu kończyny lewej tylnej z podłożem (LT).

Ze współrzędnych punktów na grzbiecie u pięciu koni utworzono wykresy zależności przemieszczeń chwilowych w czasie. Do wygładzenia takich przebiegów zastosowano filtr dziesięciokrotnego wygładzenia pięcioma punktami.

W celu wyeliminowania składowej stałej, odpowiedzialnej za liniowy przyrost drogi w osi  $X$ , opracowano metodę jej usunięcia, czyli tzw. „trendu” przebiegu czasowego.



Rys. 4. Przemieszczenia liniowe grzbietu konia KJB w jednym cyklu w funkcji czasu.

Dla badanych obiektów (pięciu koni) wyrównano całkowity czas trwania cyklu. Polegało to na rozciągnięciu przebiegów krótszych tak, aby ich całkowity czas trwania był równy czasowi najdłuższego przebiegu, którego czas trwania uznano za podstawowy, czyli 100% (rys. 4) [6].

Mając na uwadze podobieństwa i różnice w kształtach przebiegów czasowych przemieszczeń oraz zakresach przemieszczeń liniowych, ale również podobieństwo koni (przeznaczenie do hipoterapii, wymiary, podobny czas trwania całego cyklu stępa) utworzono przebieg wzorcowy Wzorzec w osiach  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  wyznaczony jako średnia z pięciu przebiegów przemieszczenia liniowego [7].

### 5 WYNIKI

Na podstawie zmierzonych danych oraz wykreślonych przemieszczeń liniowych w czasie dla każdego z siedmiu obiektów (5 koni + Wzorzec + siodło) znaleziono 90 parametrów charakteryzujących poszczególne fazy oraz cały cykl stępa. Razem wyznaczono 630 parametrów (tab. 1): 18 parametrów 7 obiektów (4 fazy + 1 cykl) = 630 parametrów. Parametrami tymi są:

$t_X[s]$ ,  $t_Y[s]$ ,  $t_Z[s]$  – czasy trwania poszczególnych faz (LP, LT, PP, PT) oraz całego cyklu w osiach  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ;

$t_{ocz}[s]$  – oczekiwany czas faz; w każdej z faz jego wartość odpowiada  $\frac{1}{4}$  czasu trwania całego cyklu;

$t_{sr}[s]$  – czas średni obliczony jako średnia czasów:  $t_X$ ,  $t_Y$ ,  $t_Z$ ;

$S_X[cm]$ ,  $S_Y[cm]$ ,  $S_Z[cm]$  – przemieszczenia w poszczególnych fazach oraz podczas całego cyklu w osiach  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ; w każdej fazie oraz w cyklu obliczono je jako sumę przemieszczeń chwilowych,

$f_X[Hz]$ ,  $f_Y[Hz]$ ,  $f_Z[Hz]$  – częstotliwości przemieszczenia poszczególnych faz oraz całego cyklu liczone jako odwrotności czasów odpowiednio:  $t_X$ ,  $t_Y$ ,  $t_Z$ ,

$f_{ocz}[Hz]$  – częstotliwość oczekiwana liczona jako odwrotność czasu oczekiwanego  $t_{ocz}$ ,

$il_X$ ,  $il_Y$ ,  $il_Z$  – liczba zmian kierunków przemieszczeń liniowych w osi  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,

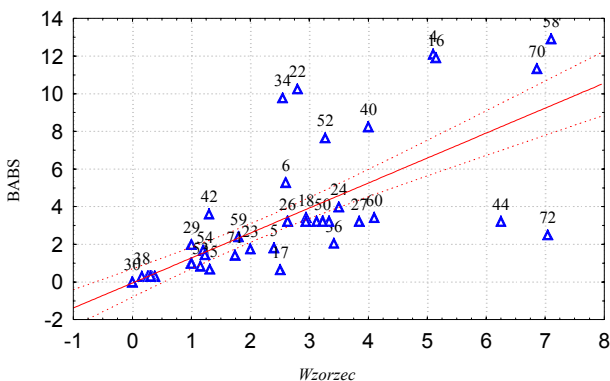
$Z_X[cm]$ ,  $Z_Y[cm]$ ,  $Z_Z[cm]$  – zakres liniowy przemieszczenia liczony dla każdej fazy.

Tabela 1. Parametry charakteryzujące stępa (fragment tabeli) (dziewięć pierwszych z osiemnastu parametrów) w poszczególnych fazach (F) oraz w całym cyklu obliczone dla 7 obiektów (5 koni, *Wzorzec* – W, siodło BABS).

Lp.	F	konie	Parametry								
			$t_x$ [s]	$t_y$ [s]	$t_z$ [s]	$S_x$ [cm]	$S_y$ [cm]	$S_z$ [cm]	$f_x$ [Hz]	$f_y$ [Hz]	$f_z$ [Hz]
1	LP	KE22	0,20	0,26	0,22	4,2	3,9	7,3	5,0	3,85	4,55
2		KE21	0,24	0,24	0,24	3,9	2,3	7,9	4,17	4,17	4,17
3		KJB	0,34	0,32	0,28	11,0	10,0	10,0	2,94	3,13	3,57
4		KT	0,3	0,3	0,3	9,9	4,3	6,3	3,33	3,33	3,33
5		KB	0,3	0,28	0,3	2,0	4,9	5,8	3,33	3,57	3,33
6		W	0,31	0,38	0,3	5,1	2,4	2,6	3,28	2,6	3,3
7		BABS	0,31	0,31	0,31	12,1	1,8	5,3	3,28	3,2	3,2
8	LT	KE22	0,34	0,24	0,3	4,8	2,6	2,2	2,94	4,17	3,33
9		KE21	0,30	0,30	0,30	6,0	3,3	4,9	3,33	3,33	3,33
10		KJB	0,2	0,2	0,26	2,3	5,8	3,9	5,0	5,0	3,85
11		KT	0,3	0,3	0,3	9,8	2,7	1,9	3,33	3,33	3,33
12		KB	0,3	0,32	0,3	4,0	4,9	6,8	3,33	3,13	3,33
13		W	0,3	0,36	0,26	2,8	2,0	3,5	3,28	2,6	3,8
14		BABS	0,3	0,31	0,31	10,3	1,8	4,0	3,28	3,2	3,2

5.1 Analiza korelacji

Rysunek 5 pokazuje siłę korelacji między *Wzorcem* a siodłem BABS. Parametrami, względem których określono siłę związku między obiektami, są parametry charakteryzujące fazy.



Rys. 5. Korelacja między siodłem BABS i *Wzorcem*, współczynnik korelacji jest równy 0,76 na poziomie ufności 95%. Zależność określona na podstawie 72 parametrów opisujących fazy każdego obiektu.

Stąd każdy z obiektów jest opisany przez 72 parametry. Współczynnik korelacji  $r$  jest dość wysoki, wynosi 0,76 na poziomie ufności 95% i wskazuje na dużą zależność między tymi obiektami. Jednak parametry nr 22 ( $S_x$  w fazie LT), nr 34 ( $Z_x$  w fazie LT), nr 44 ( $f_y$  w fazie PP)

i nr 72 ( $Z_z$  w fazie PT) odbiegają znacznie od prostej regresji.

Tabela 2. Macierz korelacji dla siedmiu obiektów. Każdy obiekt opisany jest przez: 90 parametrów – górny trójkąt tabeli, 72 parametry – dolny trójkąt tabeli, wyniki statystycznie istotne oznaczono kursywą.

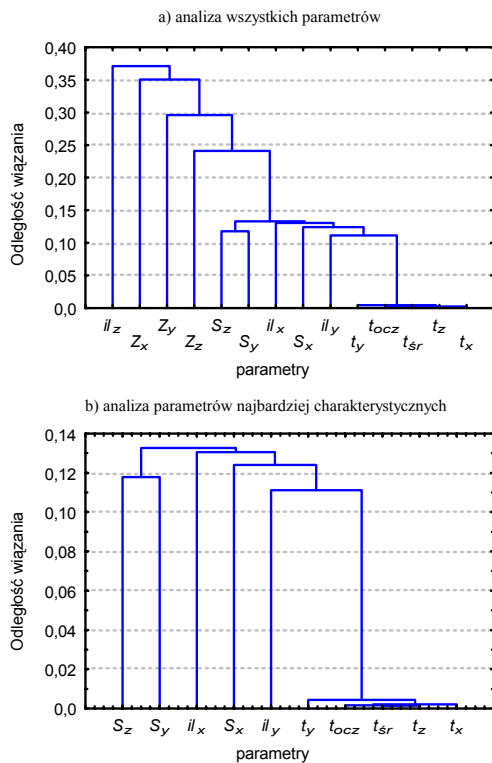
Obiekty	KE22	KE21	KJB	KT	KB	<i>Wzorzec</i>	BABS
KE22		0,96	0,87	0,86	0,76	0,91	0,85
KE21	0,89		0,87	0,87	0,80	0,91	0,85
KJB	0,74	0,67		0,84	0,84	0,84	0,76
KT	0,70	0,75	0,64		0,75	0,89	0,90
KB	0,60	0,67	0,57	0,61		0,76	0,53
<i>Wzorzec</i>	0,84	0,83	0,67	0,69	0,60		0,89
BABS	0,73	0,76	0,61	0,77	0,28	0,76	

Znaleziono także siłę związku między wszystkimi badanymi obiektami z uwzględnieniem wszystkich 90 parametrów. Wszystkie korelacje między obiektami są statystycznie istotne na poziomie ufności 95%. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona  $r$  dla wszystkich obiektów jest większy od 0,5 (górny trójkąt macierzy korelacji w tabeli 2).

5.2 Analiza skupień

W pierwszym etapie analiza skupień zastosowana została do znalezienia parametrów najlepiej opisujących konie oraz siodło BABS. Ze

względem na różne jednostki parametrów obiekty łączono metodą najbliższego sąsiada za pomocą współczynnika odległości  $1-r$  Pearsona (rys. 6).



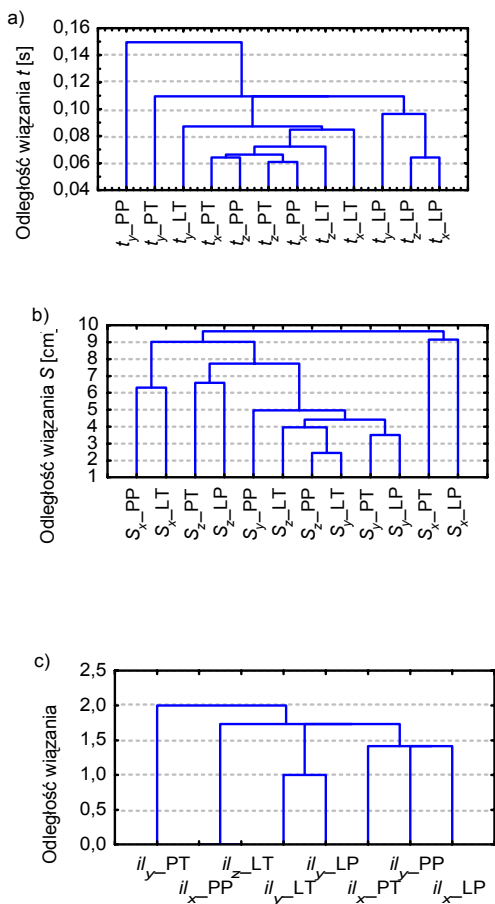
Rys. 6. Analiza skupień dla 72 parametrów opisujących każdy z 7 obiektów (pięć koni, wzorzec i siodło), pojedyncze wiązanie, odległość  $1-r$  Pearsona,  $Z$  - zakresy przemieszczeń liniowych,  $S$  - przemieszczenia liniowe,  $il$  - liczba zmian przemieszczeń liniowych,  $t$  - czasy trwania faz cyklu.

Pierwsze skupienie tworzą czasy już w odległości 0,01 (współczynnik  $r$  Pearsona – 0,99). Skupienie to świadczy o utrzymaniu stałego tempa ruchu koni, siodła oraz *Wzorca* w poszczególnych fazach oraz w cyklu w każdej z trzech analizowanych osi. Istotne również jest to, że czasy trwania ruchu stępa koni wykorzystywanych w hipoterapii mają wartości bardzo podobne do czasu trwania ruchu siodła BABS, służącego do uzupełniania hipoterapii naturalnej. Liczba zmian kierunku przemieszczenia w osi  $Y$   $il_y$  łączy się ze skupieniem czasów tworząc w odległości 0,11 następne skupienie. Do tego skupienia dołączają w odległości 0,13 parametry  $S_x$  oraz  $il_x$  tworząc nowe skupienie. W odległości 0,131 dołącza się nowe skupienie utworzone w odległości 0,119 z przemieszczeń  $S_y$  i  $S_z$ . Pozostałe parametry  $Z_x$ ,  $Z_y$ ,  $Z_z$ ,  $il_z$  dołączają do skupienia pojedynczo w zakresie odległości 0,24–0,37.

Parametrami, które prawidłowo opisują stęp konia i ruch siodła są więc:  $t_x$ ,  $t_y$ ,  $t_z$ ,  $t_{sr}$ ,  $t_{ocz}$ ,  $il_x$ ,  $il_y$ ,  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$  (parametry charakterystyczne). Są one miarą podobieństwa stępa konia i ruchu siodła BABS.

Zarówno w przypadku koni, *Wzorca*, jak i siodła parametry te leżą w bardzo bliskiej odległości od siebie. Świadczy to o dobrym utrzymaniu tempa chodu (skupienie czasów) i również o proporcjonalnym przemieszczaniu się grzbietu konia w poszczególnych fazach cyklu ( $il_x$ ,  $il_y$ ,  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$ ). Dobrą informacją o prawidłowym doborze konia do hipoterapii są liczby zmian przemieszczeń w osiach  $X$  i  $Y$ . Parametry charakterystyczne są więc dobrą miarą doboru konia do hipoterapii oraz mogą posłużyć do dalszego rozwoju i doskonalenia siodła BABS. Mierzac przynajmniej jeden z wyżej wymienionych parametrów charakterystycznych dla konia wykorzystanego do hipoterapii bądź nowo wyprodukowanego siodła można wnioskować o spełnieniu wymagań kinematycznych stawianych w hipoterapii. Oczywiście dobrze byłoby, gdyby zmierzonych było jak najwięcej parametrów. Najlepiej gdyby to były czasy trwania poszczególnych faz oraz całego cyklu. Nie wystarczy wnioskować o przydatności konia lub siodła do hipoterapii na podstawie zakresów przemieszczeń oraz liczby zmian przemieszczenia w osi  $Z$ , gdyż – jak wynika z rysunku 6a – nie tworzą one żadnego skupienia.

Następnie określono, które z parametrów charakterystycznych w poszczególnych fazach najlepiej opisują obiekty. Ze względu na tę samą jednostkę pomiarową parametrów, zastosowano wiązanie odległością euklidesową. Wyniki przedstawiono na rysunku 7. Czasy utworzyły dwa skupienia (rys. 7a). Pierwsze w odległości 0,086 s tworzą parametry  $t_y_{LT}$ ,  $t_x_{PT}$ ,  $t_z_{PP}$ ,  $t_z_{PT}$ ,  $t_x_{PP}$ ,  $t_z_{LT}$ ,  $t_x_{LT}$ , drugie skupienie w odległości 0,095 s utworzyły parametry  $t_y_{LP}$ ,  $t_z_{LP}$ ,  $t_x_{LP}$  (czasy w fazie LP). Przemieszczenia utworzyły cztery skupienia (rys. 7b): pierwsze (w odległości 5 cm) tworzą  $S_y_{PP}$ ,  $S_z_{LT}$ ,  $S_y_{PP}$ ,  $S_y_{LT}$ ,  $S_y_{PT}$ ,  $S_y_{LP}$  (wszystkie przemieszczenia w osi  $Y$ ), drugie (w odległości 6,2 cm)  $S_x_{LT}$ ,  $S_x_{PP}$ , trzecie (w odległości 6,4 cm)  $S_z_{PT}$ ,  $S_z_{LP}$ , czwarte (w odległości 9,1 cm)  $S_x_{PT}$ ,  $S_x_{LP}$ . Zmiany kierunku przemieszczeń utworzyły dwa skupienia (rys. 7c). Pierwsze (w odległości 1) tworzą  $il_y_{LT}$ ,  $il_y_{LP}$ , drugie (w odległości 1,4) tworzą  $il_x_{PT}$ ,  $il_y_{PP}$ ,  $il_x_{LP}$ .



Rys. 7. Analiza skupień parametrów charakterystycznych dla poszczególnych faz: LP, LT, PP, PT, w osiach X, Y, Z, pojedyncze wiązanie, odległość euklidesowa; parametrami są: a) czasy, b) przemieszczenia, c) liczba zmian kierunków przemieszczeń.

Parametry wyłonięne w tej części analizy pozwolą na dokładniejszą ocenę prawidłowego doboru konia i siodła do hipoterapii.

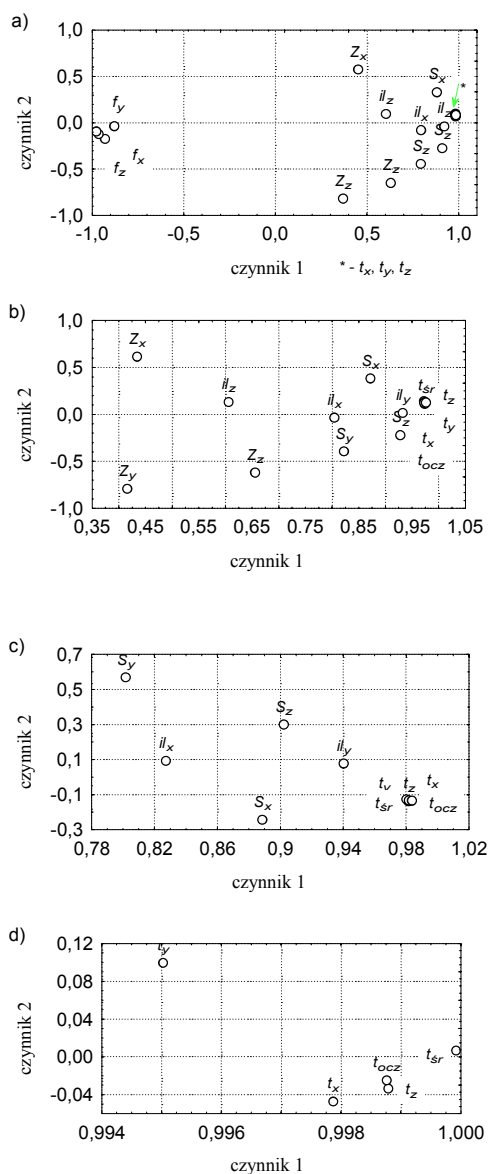
### 5.3 Analiza czynnikowa

1 Analizie czynnikowej poddano wektor parametrów:  $t_x, t_y, t_z, t_{ocz}, t_{sr}, S_x, S_y, S_z, f_x, f_y, f_z, f_{ocz}, il_x, il_y, il_z, Z_x, Z_y, Z_z$ . Każdy z parametrów był przyporządkowany każdemu z siedmiu obiektów w czterech fazach oraz w całym cyklu. Na podstawie wykresu ładunków czynnikowych (rys. 8a) wyodrębnione zostały dwie grupy parametrów, które znajdują się po różnych stronach skali.

Po ujemnej stronie skali – liczba zmian kierunków, czasy, przemieszczenia, zakresy przemieszczeń, po stronie dodatniej – częstotliwości. Na podstawie analizy wyodrębnione zostały dwa czynniki główne opisujące 82,58% ogółu

wariancji, pierwszy czynnik opisuje 69,45%, a drugi 13,13% ogółu wariancji (tab. 3).

Z tabeli 3 (poniżej) wynika, że parametry ( $t_x, t_y, t_z, t_{ocz}, t_{sr}, S_x, S_y, S_z, f_x, f_y, f_z, f_{ocz}, il_x, il_y$ ) określone czynnikiem pierwszym bardzo dobrze opisują zmienność badanych obiektów i mogą być parametrami, które decydować będą o doborze konia lub siodła do hipoterapii. Zmienność obiektów jest tak dobrze opisana przez wymienione wyżej parametry, że po zbadaniu kilku parametrów nowego obiektu (konia lub siodła) można wnioskować o jego zastosowaniu w hipoterapii. Oczywiście bardziej pożądanym jest zmierzenie i porównanie jak największej liczby parametrów przy doborze konia lub siodła do celów leczniczych.



Rys. 8. Analiza czynnikowa dla 7 obiektów (5 koni, Wzorzec, BABS); każdy obiekt opisany jest przez: a) 90 parametrów, b) 70 parametrów, c) 50 parametrów, d) 25 parametrów.

Tabela 3. Zestawienie wartości ładunków czynnikowych w analizie czynnikowej wszystkich parametrów, wyniki statystycznie istotne oznaczono kursywą.

Parametry	Czynnik 1	Czynnik 2
$t_x$	0,98302	0,096170
$t_y$	0,98461	0,066762
$t_z$	0,98302	0,084491
$S_x$	0,88158	0,329171
$S_y$	0,79348	-0,443376
$S_z$	0,91078	-0,275054
$f_x$	-0,92895	-0,174428
$f_y$	-0,87837	-0,038239
$f_z$	-0,96395	-0,123462
$il_x$	0,79533	-0,079845
$il_y$	0,92287	-0,040264
$il_z$	0,60400	0,093919
$t_{ocz}$	0,98112	0,077807
$f_{ocz}$	-0,97634	-0,096711
$t_{sr}$	0,98621	0,082665
$Z_x$	0,45229	0,573631
$Z_y$	0,37100	-0,819283
$Z_z$	0,63086	-0,649387

Częstotliwości są skorelowane ujemnie z czasami, dlatego zostały wyłączone z dalszej analizy (rys. 8b). Rysunek 8c przedstawia wyniki analizy czynnikowej po wyeliminowaniu parametrów:  $f_x$ ,  $f_y$ ,  $f_z$ ,  $Z_x$ ,  $Z_y$ ,  $Z_z$ ,  $il_z$ . Skala czynnika pierwszego zacieśniła się do 0,78–1,0. Następnie wyeliminowano wszystkie pozostałe parametry oprócz czasów (rys. 8d). Wówczas całkowita zmienność jest opisywana przez pierwszy czynnik aż w 99,62 %, a skala zacieśnia się od 0,994 do 1,0.

Tabela 4. Ładunki czynnikowe parametrów charakteryzujących fazy i cykl (fragment tabeli); wyniki statystycznie istotne oznaczono kursywą.

Lp.	Zmienność Parametry	Czynnik 1 38,14%	Czynnik 2 21,22%	Czynnik 3 16,45%	Czynnik 4 10,9%	Czynnik 5 7,79%
1	$il_x$ LP	0,19603	-0,18676	-0,28581	-0,519167	-0,444657
	$il_y$ LP	0,05287	-0,66064	-0,52141	-0,355892	-0,214703
	$t_{ocz}$ LP	0,98599	-0,09540	-0,04950	0,032869	0,091776
	$f_{ocz}$ LP	-0,98919	0,08154	0,03586	-0,011356	-0,098659
	$Z_y$ LP	-0,08184	-0,87100	0,34023	0,038450	0,292108
	$Z_z$ LP	-0,45596	-0,75998	-0,28749	-0,254167	-0,176939
	$t_x$ LT	0,62174	0,42301	0,60889	-0,229595	-0,095552
	$t_y$ LT	0,91489	0,09027	0,00612	0,271137	0,201470
90	$S_y$ LT	-0,61178	-0,74650	-0,03421	0,127312	0,216138

Na podstawie przeprowadzonej analizy podjęto decyzję, że parametrami charakteryzującymi podobieństwo koni będą:  $t_x$ ,  $t_y$ ,  $t_z$ ,  $t_{ocz}$ ,  $t_{sr}$ ,  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$ ,  $il_x$ ,  $il_y$ .

2 Parametry poddano bardziej szczegółowej analizie czynnikowej. Każdy z nich był rozpatrywany w fazie oraz w całym cyklu stępa konia. Analiza czynnikowa zredukowała 90 parametrów do 5 nowych czynników (parametrów) (tab. 4):

– pierwszy czynnik opisuje 38,14% zmienności, zawiera się w nim 30 parametrów:

$S_y$  LP,  $S_z$  LP,  $il_z$  LP,  $t_{ocz}$  LP,  $f_{ocz}$  LP,  $t_y$  LT,  $f_y$  LT,  $t_{ocz}$  LT,  $f_{ocz}$  LT,  $t_{sr}$  LT,  $Z_y$  LT,  $t_x$  PP,  $t_z$  PP,  $f_x$  PP,  $f_z$  PP,  $t_{ocz}$  PP,  $f_{ocz}$  PP,  $Z_y$  PP,  $il_z$  PT,  $t_{ocz}$  PT,  $f_{ocz}$  PT,  $t_x$  C,  $t_y$  C,  $t_z$  C,  $f_x$  C,  $f_y$  C,  $f_z$  C,  $t_{ocz}$  C,  $f_{ocz}$  C,  $t_{sr}$  C,

– drugi czynnik opisuje 21,22% zmienności, zawiera 14 parametrów:

$Z_y$  LP,  $Z_z$  LP,  $S_y$  LT,  $il_x$  LT,  $il_y$  LT,  $S_y$  PP,  $il_x$  PP,  $S_y$  PT,  $S_z$  PT,  $Z_x$  PT,  $Z_y$  PT,  $S_y$  C,  $Z_y$  C,  $Z_z$  C,

– trzeci czynnik opisuje 16,45% zmienności, zawiera 9 parametrów,

$t_x$  LP,  $S_x$  LP,  $f_x$  LP,  $t_{sr}$  LP,  $il_z$  LT,  $t_y$  PT,  $f_y$  PT,  $Z_x$  PT,  $Z_x$  C,

– czwarty czynnik opisuje 10,9% zmienności, zawiera 7 parametrów:

$t_y$  LP,  $t_z$  LT,  $S_x$  LT,  $f_z$  LT,  $t_y$  PP,  $S_x$  PP,  $f_x$  PP,

– piąty czynnik opisuje 7,79% zmienności, zawiera 2 parametry:

$S_z$  LT,  $il_z$  PP.

28 parametrów nie dało się opisać za pomocą żadnego z pięciu wyodrębnionych czynników. Na pierwszy czynnik wpływają w największej mierze parametry opisujące czas i częstotliwość stępa. Można w uproszczeniu czynnik ten określić jako *czynnik czasowy*. Na drugi czynnik przeważający wpływ mają parametry związane z przemieszczeniem i zakresem, wyrażają więc *przemieszczanie* obiektu. Pięć wyodrębnionych czynników wyczerpuje łącznie 94,5% zmienności całkowitej 90 rozpatrywanych parametrów, stąd wniosek, że redukcji przestrzeni 90-wymiarowej (90 parametrów) do zaledwie 5 wymiarów dokonano prawidłowo. Redukcja 90 parametrów do 5 nowych czynników pozwoli na uproszczenie doboru konia i siodła do hipoterapii poprzez określenie parametrów *czasowych*, *przemieszczeń* i trzech pozostałych, nie dających się bliżej nazwać czynników.

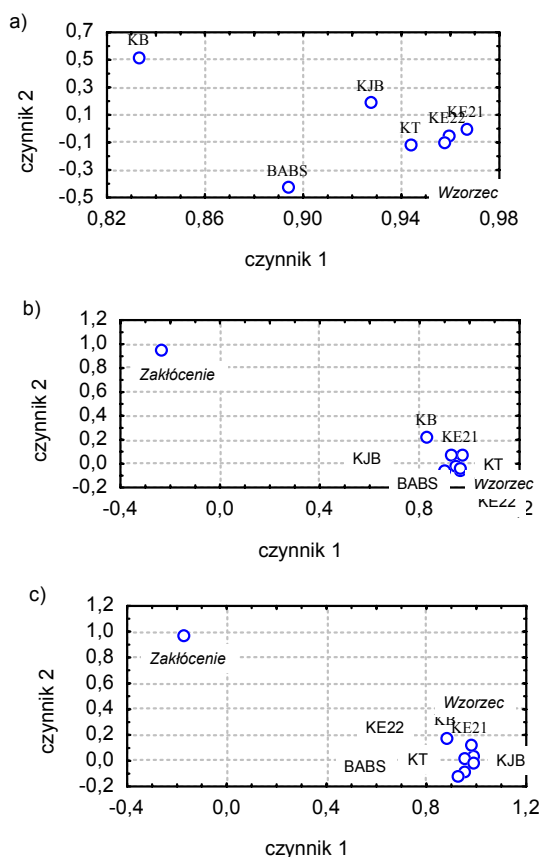
3 Wyselekcjonowane w pierwszym etapie analizy czynnikowej *parametry charakterystyczne* zadowalająco opisują stęp konia i ruch siodła BABS. Parametry te włączono do analizy czynnikowej obiektów. Każdy z obiektów (5 koni, *Wzorzec*, BABS) scharakteryzowano przez 90 parametrów. Z rysunku 9a wyodrębniła się najbardziej zwarta grupa 5 koni (KTYL, KJB, KE21, KE22, *Wzorzec*). Dwa obiekty (BABS i KB) są oddalone nieznacznie od pierwszej grupy, lecz wszystkie obiekty mieszczą się w zakresie 0,82–0,98 pierwszego czynnika, opisującego zmienność w 85,88%. Aby uwidocznić fakt, że wszystkie obiekty są do siebie podobne, wprowadzono obiekt zwany *Zakłócenie*, którego parametry są przypadkową matematyczną kombinacją pozostałych zmiennych (rys. 9b, tab. 5, kolumna a).

Na rysunku 9b wyraźnie widać pogrupowanie obiektów. Obiekt *Zakłócenie* nie pasuje do grupy, ponieważ znajduje się w dużej odległości od grupy obiektów: koni, siodła i Wzorca. Pierwszy czynnik opisuje zmienność w 75,76%, drugi w 12,38%.

Z kolumny a) w tabeli 5 wynika, że *Zakłócenie* jest opisane przez drugi czynnik, to znaczy, że obiekt nie jest podobny do grupy siedmiu obiektów (konie, siodło, *Wzorzec*).

Podobne wyniki otrzymano poddając analizie czynnikowej obiekty opisane 50 parametrami charakterystycznymi. Na rysunku 9c widać

grupę siedmiu obiektów oraz oddalony od niej obiekt *Zakłócenie*.



Rys. 9. Analiza czynnikowa dla 7 obiektów (5 koni, *Wzorzec*, BABS), a) grupowanie koni bez *zakłócenia*, b) grupowanie koni z *zakłóceniem*, c) grupowanie koni z *zakłóceniem*; parametry charakterystyczne: czasy  $t_x, t_y, t_z, t_{sr}, t_{ocz}$ , przemieszczenia  $S_x, S_y, S_z$ , liczba zmian kierunków przemieszczeń ( $il_x, il_y$ ) w fazach LP, LT, PP.

Tabela 5. Wartości ładunków czynnikowych w analizie siedmiu obiektów: a) każdy obiekt opisuje 90 parametrów, b) każdy obiekt opisuje 50 parametrów charakterystycznych; wyniki statystycznie istotne oznaczono kursywą.

Obiekty	a		b	
	Czynnik 1	Czynnik 2	Czynnik 1	Czynnik 2
KE22	<i>0,960655</i>	-0,051539	<i>0,982682</i>	0,045522
KE21	<i>0,964180</i>	0,080500	<i>0,974002</i>	0,124678
KJB	<i>0,926384</i>	0,088041	<i>0,945214</i>	0,025526
KT	<i>0,943387</i>	-0,003416	<i>0,953681</i>	-0,084701
KB	<i>0,827250</i>	0,285370	<i>0,875190</i>	0,187613
<i>Wzorzec</i>	<i>0,958622</i>	-0,049202	<i>0,982713</i>	-0,004485
BABS	<i>0,895557</i>	-0,123288	<i>0,921791</i>	-0,106113
<i>Zakłócenie</i>	-0,192914	<i>0,958654</i>	-0,176119	<i>0,973743</i>

Pierwszy czynnik opisuje 79,12% zmienności i, jak wynika z kolumny b w tabeli 5, przeważający wpływ wywiera na niego siedem

obiektów: 5 koni, siodło i *Wzorzec*. Drugi czynnik opisuje 12,75% zmienności i wpływa na niego obiekt *Zakłócenie*. Zastąpienie ośmiu wymiarów (osiem obiektów) dwoma wymiarami w tym przypadku powoduje nie tylko redukcję wymiarowości, lecz jest wyrazem wysokiego podobieństwa obiektów. Wszystkie znaczące (czcionka pogrubiona) ładunki czynnikowe zapisane w tabeli 5 można interpretować jako korelacje między danymi zmiennymi a czynnikami.

## 6 PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzona analiza statystyczna siedmiu obiektów (5 koni, *Wzorzec*, BABS) pozwoliła zbadać siłę zależności między obiektami, czyli korelacje. Z wyjątkiem jednej pary obiektów (KB i BABS) współczynnik korelacji  $r$  Pearsona jest większy od 0,5, co świadczy o silnej zależności pomiędzy badanymi obiektami.

Za pomocą analizy skupień znaleziono parametry charakterystyczne. Parametrami tymi są:  $t_x$ ,  $t_y$ ,  $t_z$ ,  $t_{sr}$ ,  $t_{ocz}$ ,  $il_x$ ,  $il_y$ ,  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$ . Można się nimi posłużyć przy doborze konia do zajęć z hipoterapii lub rozwoju i doskonalenia konstrukcji siodła BABS.

Analiza czynnikowa pozwoliła na zredukowanie przestrzeni 90 wymiarowej (90 parametrów) do 5-wymiarowej określonej nowymi parametrami (czynnikami). Pierwszy czynnik opisujący 38,14% ogólnej zmienności nazwano *czasowym*, ze względu na parametry wpływające na ten czynnik. Drugi czynnik opisujący 21,22% zmienności nazwano *przemieszczeniem* ze względu na wpływ przemieszczeń i zakresów na ten czynnik. Pięć wyodrębnionych czynników opisuje 94,5% całej zmienności parametrów.

W oparciu o analizę czynnikową określono podobieństwa między poszczególnymi obiektami. Siodło BABS okazało się bardzo zbliżone do koni. Na rysunku 9 znajduje się w środku pomiędzy pozostałymi obiektami. Należy podkreślić, że poszczególne obiekty były opisane 90 parametrami. Był to więc opis dość wyczerpujący. Wartości czynnika 1 dla poszczególnych obiektów zawierały się pomiędzy 0,89 a 0,97, co wskazuje na duże podobieństwo obiektów, przy czym czynnik pierwszy opisywał ponad 86% ogólnej wariancji. Wartości ładunków czynnikowych, wszystkie większe od 0,80 (tab. 5), wskazywały na to, że zmienność parametrów

opisujących wszystkie obiekty była zawarta w czynniku 1.

*Zakłócenie* wprowadzone w kolejnym kroku analizy pozwoliło na zaobserwowanie różnicy dzielącej grupę obiektów w stępie od obiektu znajdującego się w ruchu sztucznie zakłóconym. Ten etap analizy wskazuje to na trafność wyboru tej metody jako narzędzia umożliwiającego przede wszystkim analizę podobieństwa ruchów BABS do ruchów innych obiektów. Docelowo istnieje możliwość zastosowania metody do opracowania wzorcowego ruchu, a co za tym idzie do doskonalenia symulowanych przez siodło ruchów.

Stąd wniosek końcowy, że siodło spełnia oczekiwania jako narzędzie uzupełniające naturalną hipoterapię z zastrzeżeniem, że dotyczy to ruchów, a nie innych cech środowiska konia.

Z racji opisanych w rozprawie doktorskiej analogii stępa konia do ruchów siodła i odnalezienia wspólnych cech z ruchem obręczy biodrowej dziecka podczas chodu, można zalecić siodło BABS do stosowania jako uzupełnienie naturalnej hipoterapii dla dzieci z porażeniem mózgowym, ze szczególnym wskazaniem na rodzaj porażenia związanego z problemami w motoryce. Należy jednak dodać, że oprócz badań zawartych w tej pracy, celowe jest prowadzenie badań równoległych i kompleksowych u dzieci z różnymi rodzajami porażenia mózgowego poddanych hipoterapii uzupełnionej o ćwiczenia na siodle naśladowującym ruchy konia w stępie i określenie wpływu takiej terapii na utrzymanie równowagi i lokomocję dziecka.

Praca doktorska finansowana przez Komitet Badań Naukowych, nr grantu: 4PO5D 05516.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Barolin, G.S., Samborski R. 1991. Das Pferd als Helfer in der Therapie, Neuro-Rehabilitation, H. 20, ss. 476–481.
- 2) Bober T., Burkitt J., Dziuba A., Słonka K., Sutherland I., Wójtowicz D. (1998): The Brunel Active Balance Saddle (BABS): A therapy tool for children with cerebral palsy (CP), Annual Congress of the European College of Sport Science, Manchester, s. 228.
- 3) Cappozzo A. et al (1992): Proceedings of the Symposium, Italy, April 14–17, 1989
- 4) Dziuba A., Sutherland I., (2001): *Characteristics pelvic movement in child sitting on BABS saddle* – 6<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science, Book of Abstracts, Cologne, 24-28 July 2001, s. 396.
- 5) Dziuba A., Sutherland A. I., Bober T. (2000): Hippotherapy: Comparison of the BABS simulator with five walking horses, Proceedings of the 6<sup>th</sup> Annual National

- Conference of the Institute of Physics & Engineering in Medicine, Southampton, ss. 107-108
- 6) Dziuba A., Bober T., (2000): The mechanical saddle as a supplementary tool for hippotherapy, The Proceedings of Abstracts of the International Scientific Conference „Physical Education and Sport 2000, Liberec – Euroregion NISA”, s. 23.
  - 7) Dziuba A., (2000): Ruchy grzbietu konia w mechanicznym urządzeniu do hipoterapii - The mimic of horse back movement by mechanical saddle for hippotherapy, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Proceedings of the 16<sup>th</sup> School of Biomechanics, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Vol 2, Suppl. 1, ss. 159-161.
  - 8) Dziuba A., Bober T., Wójtowicz D. (1998): Rehabilitacja dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym z wykorzystaniem siodła BABS (badania pilotażowe), Polskie Towarzystwo Walki z Kalectwem, Oddział Wojewódzki we Wrocławiu, ss. 129-139.
  - 9) Dziuba A., (1997): Trójwymiarowa Analiza ruchu konia i siodła BABS - The three dimensional analysis of horse walking and BABS saddle, Biology of Sport, Vol.14, Suppl.7, ss. 292-296.
  - 10) Lafone, D. 1994 Korespondencja pisemna (własna) z fizjoterapeutami w języku angielskim.
  - 11) Kupiński, J. 1995. Hipoterapia dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym, Fundacja „Hipoterapia”, Vol. 1-4 (13-16), ss. 56-57.
  - 12) Strauss I. (1996): Hipoterapia – Neurofizjologiczna gimnastyka lecznicza na koniu, Fundacja na Rzecz Rozwoju Rehabilitacji Konnej Dzieci Niepełnosprawnych – Hipoterapia, Kraków.