

REAKCJE RÓWNOWAŻNE NA PRZYKŁADZIE PRĘDKOŚCI PRZEDNIO-TYLNEJ POSTUROGRAMU U DZIEWCZĄT I CHŁOPCÓW W WIEKU 12-15 LAT

BALANCE REACTIONS BASED ON THE ANTEROPOSTERIOR SPEED OF POSTUREGRAM MEASURED AMONG GIRLS AND BOYS AGED 12-15

Jacek Wilczyński

Zakład Rehabilitacji Narządu Słuchu i Równowagi, Instytut Fizjoterapii

Wydział Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego w Kielcach

Kierownik Zakładu: prof. dr hab. n. med. Stanisław Bień

STRESZCZENIE

Celem badań była analiza reakcji równoważnych na przykładzie prędkości przednio-tylnej oraz określenie roli analizatorów wzroku w procesie utrzymania równowagi ciała u dzieci w wieku 12–15 lat. Badaniami objętych zostało 503 dzieci z wylosowanych uprzednio: Szkoły Podstawowej nr 13 i Gimnazjum nr 4 w Starachowicach. Równowagę badano na platformie stabilograficznej. Do oceny równowagi ciała zastosowano platformę Cosmogamma by Emildue. Urządzenie składa się z platformy dynamometrycznej, komputera z oprogramowaniem do uzyskiwania i przetwarzania testów diagnostycznych oraz monitora i drukarki. Zmiana maksymalnego nacisku na podeszwy stóp podczas wychyleń ciała odbierana jest za pomocą mechaniczno-elektrycznego transduktora składającego się z trzech sensorów zainstalowanych w podstawie platformy. Zarejestrowany sygnał przetwarzany jest z informacji analogowej w cyfrową, następnie opracowany poprzez oprogramowanie komputera. Dane liczbowe uzyskiwane są dzięki pomiarom siły reakcji podłoża przez sensory umieszczone w trzech punktach platformy. Odpowiednie oprogramowanie stwarza możliwość obliczenia wypadkowej siły reakcji podłoża, która jest sumą momentów sił działających na platformę w trzech punktach pomiaru środka nacisku stóp. Do jej analizy zastosowano prędkość przednio-tylną posturogramu (PP). Wartość PP dla całej grupy oscylowała od 10,50 z oczami otwartymi (OE) do 10,56 z oczami zamkniętymi (CE). PP była mniejsza u dziewcząt zarówno w teście przy OE, jak i CE. Przy CE nastąpił wzrost PP tylko u 12-letnich dziewcząt i 12-, 14-, 15-letnich chłopców. Skrócenie PP w teście CE można wytłumaczyć tym, że w przypadku chwilowego braku kontroli wzrokowej u badanych dzieci występowała większa koncentracja i skupienie uwagi na wykonywanej pracy. Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie PP względem płci ($p < 0,001$), wieku ($p < 0,027$), istotną interakcję płci i opcji badania ($p < 0,001$) oraz wieku i opcji badania ($p < 0,01$).

Słowa kluczowe: analizator wzroku, reakcje równoważne, platforma stabilograficzna, test Romberga, COP, PP.

SUMMARY:

The aim of the research was to analyze the equivalent reactions based on AP and estimate the role of sight analyzers in the process of keeping balance among children aged 12 to 15. Firstly, 503 children aged 12 to 15 were drawn from the Primary School number 13 and from the Junior High School number 4 in Starachowice and next they were examined. Balance was measured on the stabilographic platform. To evaluate the balance of a body the Cosmogamma platform by Emildue was used. This device consists of a dynamometric platform, the computer with the proper software (to get and process diagnostic tests), the screen and the printer. A change of the maximum pressure on soles during a body inclination is received by the mechanical-electrical transducer consisting of three sensors installed on the base of the platform. A registered signal is processed from analogue information into digital information, and then it is worked out by the computer software. The numerical data is got thanks to the measurements of the force of foundation reactions and sensors set in three places on the platform. The proper software makes it possible to work out the outcome force of the foundation reactions which is the summary of the moments of forces acting on the platform in three points. For its analysis the anteroposterior speed of the posturegram was used. The value of PP for the whole group varied from 10,50 with open eyes to 10,56 with closed eyes. PP was lower among girls in the test with OE as well as with CE. Measuring the value with CE we could observe an increase of PP among 12-year-old girls and 12, 14, 15-year-old boys. Shortening the PP in the test with CE can be explained by the fact that having a temporary absence of a visual inspection examined children could better focus on their work. The analysis of variations showed significant differences of PP ($p < 0,001$) according to the gender, age ($p < 0,027$), a significant interaction between gender and the options of the study ($p < 0,001$) as well as age and the option of testing ($p < 0,01$).

Key words: sight analyzer, balance reactions, stabilographic platform, Romberg's test, center of feet pressure (COP), anteroposterior speed of the posturegram (AP).

WSTĘP

Utrzymywanie równowagi jest specyficzną czynnością ruchową, wymagającą precyzyjnej współpracy wszystkich segmentów ciała w wyniku zadziałania procesów dynamicznych, przebiegających poza świadomością. Wymaga to stałej współpracy układów sensorycznych: wzrokowego, proprioceptywnego i błędnikowego, które rejestrują odchylenia rzutu środka masy ciała (COM) od wartości zadanej z układem wykonawczym realizującym korekcje minimalizujące te odchylenia. Pośrednikiem w tej rejestracji oraz przetwarzaniu sygnałów aferentnych i generacji decyzji w drogach eferentnych jest OUN. Wszystkie systemy współpracujące w procesie stabilizacji ciała tworzą układ równowagi [1, 2]. Można także rozszerzyć pojęcie równowagi na sytuacje dynamiczne. W trakcie lokomocji przez fazową aktywność mięśniową utrzymywana jest typowa dla postawy człowieka pionowa orientacja głowy i tułowia [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Utrzymanie równowagi w trakcie realizacji czynności ruchowych warunkowane jest procesami zbierania i przetwarzania informacji specyficznych dla konkretnej sytuacji. Kontrola równowagi ciała jest podstawą każdego działania ruchowego, którego efekt końcowy jest uzyskiwany przez wykorzystanie różnych strategii. Równowaga to efekt procesu samoorganizacji, którego podstawowym mechanizmem jest jedność stabilności i zmienności sprowadzająca się m.in. do wyboru strategii rozwiązania określonego zadania ruchowego. Rozpatrując równowagę ciała zawsze powinno się uwzględniać specyfikę zadania ruchowego, w trakcie którego ta właściwość się przejawia. Celem badań była analiza reakcji równoważnych na przykładzie prędkości przednio-tylnej (PP) środka nacisku stóp (COP) u dziewcząt i chłopców w wieku 12–15 lat. W badaniach własnych analizowano już reakcje równoważne m.in. na przykładzie prędkości bocznej i długości ścieżki środka nacisku stóp (COP) [9, 10].

MATERIAŁ I METODA BADAŃ

W badaniu wzięło udział 503 dzieci w wieku 12–15 lat ze Szkoły Podstawowej nr 13 i Gimnazjum nr 4 w Starachowicach. Badania przeprowadzono w listopadzie i grudniu 2005 roku. Dobór badanych dokonany został losowo, zgodnie z zasadą randomizacji, po uprzednim ustaleniu kryteriów, jakim powinny odpowiadać poszczególne grupy. Rozkłady liczebności w grupach wieku i płci nie różniły się istotnie. W badaniach reakcji równoważnych zastosowano

platformę stabilograficzną Cosmogamma by Emildue [rys. 1]. Badanie reakcji równoważnych na platformie polegały na analizie prędkości przednio-tylnej środka nacisku stóp – COP (*center of pressure*).

Zastosowana w pracy stabilografia komputerowa stwarza możliwość pośredniej oceny funkcji układu nerwowego poprzez pomiar wychwiań ciała charakteryzujących utrzymanie równowagi w pozycji stojącej. Wstępna analiza kształtu posturogramu pozwala stwierdzić, że sygnał ten oprócz stacjonarnej, niezależnej składowej szybkozmiennej zawiera trendy stochastyczne (składowe wolnozmiennie). Obecność składowej szybkozmiennej jest poddyktowana istnieniem szumu w układzie kontroli postawy i występuje tylko w aktywności nerwowo-mięśniowej człowieka [2]. Wykonano test Romberga składający się z dwóch następujących po sobie prób, trwających po 30 sekund: pierwsza z oczami otwartymi (OE – *open eyes*), druga z oczami zamkniętymi (CE – *close eyes*). Analizie poddano prędkość przednio-tylną (PP) (*anteroposterior speed*). Prędkość przednio-tylna jest średnią szybkością COP wzdłuż osi Y (mm/s). Oceniając prędkość przednio-tylną (PP) obliczono podstawowe parametry statystyczne zmiennych w każdym przedziale wieku odrębnie dla dziewcząt i chłopców. Normalność rozkładu zmiennych weryfikowano testem Kołmogorowa-Smirnowa. Różnice w prędkości przednio-tylnej (PP) pomiędzy dziewczętami a chłopcami oceniano analizą czynnikową. Następnie dokonano analizy wariancji z klasyfikacją potrójną dla powtarzanych pomiarów z oczami otwartymi (OE) i zamkniętymi (CE) odrębnie dla zmiennych wyłonięnych w analizie czynnikowej [11].



Rys. 1. Platforma stabilometryczna Cosmogamma by Emildue R50300 [16]

WYNIKI

Tabela 1. Prędkość przednio-tylna (PP) (*anteroposterior speed*)

Płeć Wiek	Prędkość przednio-tylna (OE)			Prędkość przednio-tylna (CE)			Różnica OE–CE
	x	n	s	x	n	s	
Dziewczęta	10,17	247	3,44	9,64	247	3,21	0,53
12	10,00	60	3,31	10,47	60	3,36	-0,47
13	9,75	60	3,53	9,26	60	3,79	0,49
14	10,53	65	3,11	9,73	65	2,80	0,80
15	10,35	62	3,81	9,10	62	2,75	1,25
Chłopcy	10,82	256	3,76	11,45	256	4,18	-0,63
12	11,32	65	3,26	12,87	65	4,33	-1,55
13	11,76	61	4,84	11,40	61	4,53	0,36
14	10,51	60	3,63	10,78	60	3,54	-0,28
15	9,81	70	2,93	10,75	70	4,00	-0,93
Razem	10,50	503	3,62	10,56	503	3,84	-0,06

Tabela 2. Analiza wariancji prędkości przednio-tylnej (PP)

Zmienne niezależne	DF efekt	MS efekt	DF błąd	MS błąd	F	p
Płeć (1)	1	391,87	495	19,37	20,22	0,001
Wiek (2)	3	59,63	495	19,37	3,07	0,027
Opcja badania (3)	1	0,44	495	7,05	0,06	0,802
Interakcja płeć – wiek (1,2)	3	43,33	495	19,37	2,23	0,083
Interakcja płeć – opcja badania (1,3)	1	78,09	495	7,05	11,07	0,001
Interakcja wiek – opcja badania (2,3)	3	26,69	495	7,05	3,78	0,010
Interakcja płeć – wiek – opcja badania (1,2,3)	3	11,12	495	7,05	1,57	0,193

DF (*degree of freedom*) – liczba stopni swobody, MS (*mean square*) – średnia kwadratów, F – stosunek MS efektu do MS błędu, p – poziom istotności.

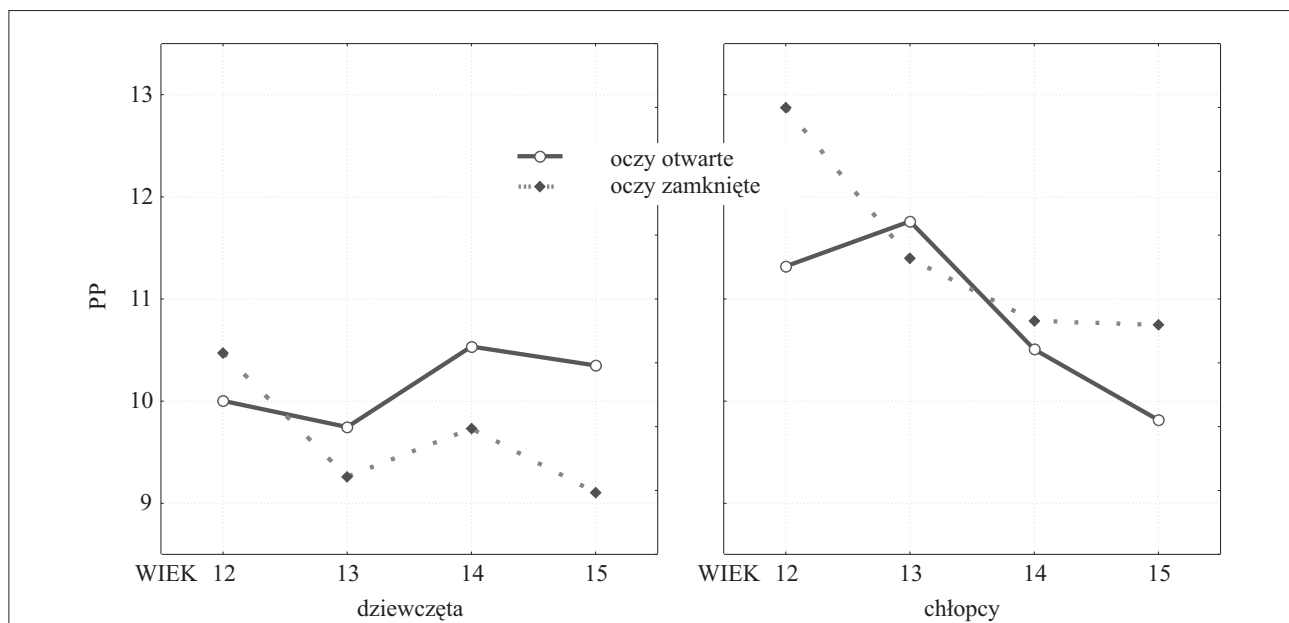
OMÓWIENIE WYNIKÓW

Człowiek może przejawiać różne reguły łącznego wykorzystania dostępnych informacji w zależności od warunków środowiskowych. Zdrowe dorosłe osoby bazują głównie na informacji proprioceptywnej w warunkach typowych, gdy wszystkie rodzaje informacji są dostępne, choć można „zmusić” ich do przejścia na informację wzrokową, poprzez zmianę warunków stania na podłożu. Szczególną rolę odgrywają analitycy wzroku. W staniu swobodnym informacja wzrokowa działa silnie stabilizująco na utrzymanie pozycji, a chwilowe wyłączenie wzroku powoduje zmianę ilości i amplitudy wychyleń. Wzrok jest głównym źródłem informacji u osób z uszkodzeniem systemu przedsionkowego lub czucia proprioceptywnego.

W sytuacji braku lub zakłócenia informacji przedsionkowej, w czasie spokojnego stania, jest ona wyrównywana przez pozostałe dostępne systemy czuciowe. W przypadku zaburzenia funkcji dwóch źródeł informacji czuciowej zwiększenie wychyleń jest dużo większe niż w sytuacji zaburzenia czyn-

ności jednego systemu. Wielu autorów sugeruje, że w staniu swobodnym na stabilnym podłożu receptory czucia głębokiego są ważniejsze niż pozostałe źródła informacji, szczególnie w przypadku wyłączenia informacji wzrokowej. Cenne są badania porównawcze dotyczące procesu utrzymywania równowagi podczas pełnej kontroli wzroku i po jej wyłączeniu. Zamknięcie oczu (CE) zwykle powoduje większe wychwiania. Interesujące są badania o kompensacyjnej roli wzroku podczas utrzymywania równowagi u osób ze schorzeniami czucia i układu przedsionkowego. Wykazały one pogorszenie stabilności ciała po krótkotrwałym wyłączeniu kontroli wzrokowej.

Proprioceptory szyjne dostarczają informacji o ułożeniu głowy względem ciała. Przesyłają ją albo bezpośrednio do jąder przedsionkowych i tworzą siatkowatego, albo pośrednio do mózdzku. Informacja proprioceptywna jest najważniejsza w reakcjach odruchowych układu równowagi. Kiedy głowa przechyla się w jednym kierunku to impulsy z szyjnych receptorów powodują odczucie zakłócenia równowagi, gdyż są przeciwstawne do dostarczanych informacji



Rys. 2. Prędkość przednio-tylna (PP)

z narządów przedsionkowych. Jednak kiedy całe ciało przechyla się w jednym kierunku to impulsy z narządów przedsionkowych są zgodne z receptorami szyjnymi i dochodzi do uświadomienia zmiany położenia całego ciała. Proprioceptywna i eksteroceptywna informacja z innych części ciała jest również ważna w utrzymaniu równowagi, ponieważ nie bez znaczenia jest czy wrażenie ucisku dotyczy jednakowo obu stóp, czy też ucisk pochodzi z przedniej lub tylnej części stopy.

Informacja wzrokowa ma istotne znaczenie po zniszczeniu narządów przedsionkowych, a nawet po osłabieniu informacji proprioceptywnej. Nawet wyraźnie liniowy lub obrotowy ruch natychmiast wyzwala wrażenia na siatkówce i ta informacja jest przesyłana do OUN. Osoby z obustronnie zniszczonym narządem przedsionkowym mają zdolność zachowania równowagi tak długo, jak utrzymują otwarte oczy oraz jak długo wykonują powolne ruchy ciała. Każde zamknięcie oczu lub gwałtowny ruch doprowadzają do zakłócenia czynności układu równowagi. Nawet stymulacja mięśni gałek ocznych przez wibrację powoduje zwiększenie zakresu wychwiał ciała w określonym kierunku zależnie od drażnionych mięśni. Badania osób z zaburzeniami ostrości widzenia wykazały u nich gorszą stabilność ciała w pozycji stojącej. Kompensacyjna rola wzroku występuje u osób ze schorzeniami czucia i układu przedsionkowego. Badania potwierdzają nieznaczne pogorszenie stabilności ciała w przypadku krótkotrwałego wyłączenia kontroli wzrokowej. Oprócz informacji wzrokowych szczególną rolę w utrzymywaniu pozycji stojącej spełniają bodźce proprioceptywne mięśni gałek ocznych. Ich stymulacja przez wibrację powoduje zwiększenie zakresu wychwiał ciała w określonym kierunku zależnie od położenia drażnionych mięśni.

Wskazuje to na udział aparatu ruchowego gałek ocznych w kontrolowaniu wychwiał ciała. Jego nieprawidłowe działanie może powodować wadliwe pobudzenie czynności błędniaka, a w konsekwencji zawroty głowy i utratę stabilności. Stabilność ciała oraz percepcja ruchu pogarsza się również w przypadkach zaburzeń ostrości widzenia. Zmiany te dotyczą szczególnie płaszczyzny strzałkowej. Prawidłowa ostrość widzenia jest konieczna zarówno do rozpoznawania konturów obrazów, jak i do utrzymywania optymalnej równowagi ciała. Duże znaczenie w utrzymaniu postawy pionowej ma orientacja przestrzenna głowy w stosunku do siły grawitacji. Ruchy głowy związane z ruchami oczu oraz czynnością kanałów półkolistych zapewniają prawidłową statykę ciała, a pobudzenie narządów otolitowych przez pochylenie głowy powoduje odruchowy skurcz mięśni szyi i korekcję ustawienia głowy. Zrównoważone położenie głowy decyduje o równowadze całego ciała [12, 13, 14, 15].

Prędkość przednio-tylna (PP) oscylowała od 10,50 z oczami otwartymi (OE) do 10,56 z oczami zamkniętymi (CE). Różnica w teście Romberga wynosiła -0,06. U dziewcząt prędkość przednio-tylna (PP) w teście oczy otwarte (OE) najmniejsza była u 13- następnie 12-, 15- i 14-letnich. W teście oczy zamknięte (CE) parametr ten najmniejszy był u 15- następnie 14-, 13- i 12-letnich. U chłopców w teście z oczami otwartymi (OE) prędkość przednio-tylna (PP) najmniejsza była u 15- następnie 14-, 12- i 13-letnich. U chłopców w teście z oczami zamkniętymi (CE) parametr ten najmniejszy był u 15- następnie 14-, 13- i 12-letnich.

Wystąpiło istotne zróżnicowanie prędkości przednio-tylnej (PP) względem płci ($p < 0,001$), istotny efekt wieku ($p < 0,027$), istotna interakcja płci i opcji badania ($p < 0,001$) oraz wieku i opcji badania ($p < 0,01$)

(tab. 1, 2, rys. 2). Nie było istotnych różnic w badaniu z oczami otwartymi (OE) i zamkniętymi (CE). Warto jednak zauważyć, że u dziewcząt w teście oczu zamknięte (CE) nastąpiło nieznaczne zmniejszenie prędkości przednio-tylnej (PP). Jej zwiększenie pojawiło się jedynie u 12-latek. U chłopców z oczami zamkniętymi (CE) odwrotnie, wystąpiło jego nieznaczne zwiększenie. Zmniejszenie wystąpiło jedynie u 13-latków. Charakterystyczny u dzieci jest też stosunkowo niewielki wpływ wzroku na zmienność sygnału COP. Zmniejszenie prędkości przednio-tylnej (PP) z oczami zamkniętymi (CE) można wytłumaczyć tym, że w przypadku chwilowego braku kontroli wzrokowej u badanych występowała większa koncentracja i skupienie uwagi na wykonywanej czynności.

WNIOSKI

1. Wystąpiły istotne różnice w prędkości przednio-tylnej w poszczególnych grupach wiekowych badanych.
2. Prędkość przednio-tylna była wyraźnie mniejsza u dziewcząt, zarówno w teście z oczami otwartymi, jak i z zamkniętymi.
3. Nie było istotnych różnic prędkości przednio-tylnej w teście Romberga.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Bień SF, Kukwa A. Anatomia i fizjologia narządu przedsionkowego. W: Otoneurologia. Red. G Jan-czewski, B Latkowski. Bel Corp, Warszawa 1998.
- [2] Błaszczyk JW. Biomechanika kliniczna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004.
- [3] Boudrahem S, Rougier PR. Relation between postural control assessment with eyes open and centre of pressure visual feedback effects in healthy individuals. *Exp Brain Res* 2009; 5, 195, 1: 145–152.
- [4] Bruyneel AV, Chavet P, Bollini G et al. Idiopathic scoliosis and balance organisation in seated position on a seesaw. *European Spine Journal* 2010; 3: 2.

[5] Collins JJ., De Luca CJ. The effects of visual input on open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Experimental Brain Research* 1995, 103: 151–163.

[6] Genthon N, Bouvat E, Banihachemi JJ. Lateral ankle sprain alters postural control in bipedal stance-part 1: restoration over the 30 days following the injury. *Scand J Med Sci Sports*. 2010, 4, 20, 2: 247–254.

[7] Husson JL, Mallet JF, Parent H et al. Applications in spinal imbalance. *Orthop Traumatol Surg Res* 2010; 5: 4.

[8] Rougier PR, Boudrahem S. Visual feedback of force platform displacements for balance control training: what postural ability do healthy subjects have to develop to decrease the difference between center of pressure and center of gravity movements? *Motor Control* 2010, 4, 14, 2: 277–291.

[9] Wilczyński J, Bień S. Analizatory wzroku a reakcje równoważne na przykładzie prędkości bocznej (PB) posturogramu u młodzieży w wieku 12–15 lat. *Studia Medyczne Akademii Świętokrzyskiej* 2007; 7: 25–31.

[10] Wilczyński J. Analizatory wzroku a reakcje równoważne na przykładzie długości ścieżki posturogramu u uczniów w wieku 12–15 lat. *Studia Medyczne Akademii Świętokrzyskiej* 2007; 8: 15–19.

[11] Komputerowy program statystyczny Statistica. 7.1. statsoft, 2007.

[12] Ryan EE, Rossi MD, Lopez R. The effects of the contract-relax-antagonist-contract form of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on postural stability. *J Strength Cond Res* 2010 Jul; 24, 7:1888–1894.

[13] Bustamante Valles KD, Long JT, Riedel SA et al. Analysis of postural stability following posterior spinal fusion in adolescents with idiopathic scoliosis. *Stud Health Technol Inform* 2010; 158: 127–131.

[14] Hur P, Duiser B, Salapaka S et al. Measuring robustness of the postural control system to a mild impulsive perturbation. *IEEE Trans Neural Syst Rehab Eng* 2010 Jun; 7.

[15] Franchignoni F, Horak F, Godi M et al. Using psychometric techniques to improve the Balance Evaluation Systems Test: the mini-BESTest. *J Rehab Med* 2010 Apr; 42, 4: 323–231.

[16] www.Technomex.pl

Adres do korespondencji:

dr hab. Jacek Wilczyński
Instytut Fizjoterapii
Wydział Nauk o Zdrowiu UJK w Kielcach
25-317 Kielce, Al. IX wieków Kielc 19
e-mail: jacekwilczyński77@poczta.onet.pl
tel. 603 703 926