

Projekt protezy kciuka dla dziecka z zespołem Nagera wykonany metodą druku 3D

Design of a thumb prosthesis for a child with Nager syndrome made by 3D printing

Patrycja Justyna Dytrych¹, Piotr Borkowski¹, Grażyna Elżbieta Dytrych²

¹Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, Zakład Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej

²Klinika Rehabilitacji Dziecięcej z Ośrodkiem Wczesnej Pomocy Dzieciom Upośledzonym „Dać Szansę” w Białymstoku

DOI:10.20966/chn.2017.52.392

STRESZCZENIE

Zespół Nagera jest chorobą o podłożu genetycznym i dotyczy głównie wad w obrębie twarzoczaszki i kończyn górnych. Ich rodzaj i stopień nasilenia są zróżnicowane. Anomalie w budowie I palca ręki dotyczą wszystkich dzieci z tym zespołem i polegają na całkowitym braku kciuków lub ich niedorozwoju. W artykule opisano proces projektowania funkcjonalnej protezy kciuka ręki prawej dla dziecka z zespołem Nagera w przypadku braku kikuta oraz wykonanie prototypu protezy z wykorzystaniem technologii druku 3D. Zaopatrzenie ortopedyczne jest istotnym komponentem rehabilitacji i ma na celu poprawę funkcji chwytnej ręki, co ma szczególne znaczenie dla jakości życia dziecka z zespołem Nagera i radzenia sobie w czynnościach dnia codziennego.

Słowa kluczowe: zespół Nagera, proteza kciuka, drukarka 3D

ABSTRACT

Nager's syndrome is a disease with a genetic background mainly concerning defects in the maxillofacial area and upper limbs. The type and intensity of these defects vary. Anomalies in the structure of digit I of the hand apply to all children afflicted by the disease and involve a total lack or underdevelopment of thumbs. This article describes the process of designing a functional thumb prosthesis of the right hand for a child with Nager's syndrome in the absence of a stump, as well as 3D printing of the prosthesis prototype. Orthopaedic appliances are a significant component of rehabilitation and aim to improve the gripping function of the hand, which is of particular significance to the quality of interpersonal relationships of a child with Nager's syndrome as well as coping with day-to-day activities.

Key words: Nager's syndrome, thumb prosthesis, 3D printer

WSTĘP

Zespół Nagera – dyzostoza twarzowo-żuchwowa Nagera (ang. Nager acrofacial dysostosis – NAFD) cechuje się anomaliami głównie w obrębie kończyn górnych i twarzoczaszki. Nasilenie wad jest zróżnicowane od słabo wyrażonych do rozległych wad i wad bardzo znacznego stopnia. NAFD występuje na całym świecie we wszystkich grupach etnicznych i rasowych [1, 2].

Wady kończyn górnych obserwowane w NAFD to [1, 2]:

- niedorozwój (hipoplazja) lub brak (aplazja) kciuków,
- zakrzywienie palców ręki (klinodaktylia), zrośnięcie palców (syndaktylia),
- brak lub częściowo ukształtowane kości promieniowe,
- kościorost promieniowo-łokciowy.

W wyniku nieprawidłowej budowy kości promieniowej ręka skierowana jest promieniowo i dłoniowo, dochodzi wówczas do hipermobilności stawów w obrębie nadgarstka. Leczenie wrodzonej hipoplazji kości promieniowej polega na chirurgicznej korekcji tkanek miękkich oraz centralizacji kości łokciowej [3-5].

Powyższej anomalii często towarzyszy brak kciuka, kości wielokątnej i łódeczkowatej. W przypadku niedorozwoju kciuka nie stosuje się żadnych zabiegów operacyjnych ze względu na funkcjonalną wartość kikuta. Leczenie operacyjne wrodzonego braku kciuka polega na policyzacji, czyli przebudowie promienia II palca ręki. Niemożliwe

jest jednak wytworzenie czynnej opozycji, zabieg ten nie poprawia funkcjonalności ręki, a pacjenci często nie akceptują wyglądu [5, 6].

Wrodzony kościorost promieniowo-łokciowy oznacza patologiczny wzrost kości przedramienia w okolicach stawu promieniowo-łokciowego bliższego. Wada ta powoduje ograniczenie zakresów ruchu rotacji przedramienia, a niekiedy wiąże się też z brakiem możliwości pełnego wyprostowania w stawie łokciowym [4-6].

Kciuk jest najbardziej mobilnym palcem ręki i stanowi około 40% jej możliwości czynnościowych, ma zdolność przeciwstawiania się pozostałym palcom i gwarantuje stabilność chwytu. Palec II zapewnia stabilność i równowagę przy czynnościach dnia codziennego – takich jak pisanie. Umożliwia również wykonywanie chwytów precyzyjnych. Palec III odgrywa dużą rolę w pewnym chwycie siłowym oraz wspiera palec II podczas wykonywania czynności precyzyjnych. Palec IV także jest istotny dla chwytu siłowego, ponadto ma ogromne znaczenie dla estetyki ręki. Palec V zapewnia stabilny chwyt siłowy ze względu na zwiększenie pola powierzchni dłoni po stronie łokciowej [7].

PROTEZOWANIE UBYTKÓW W OBRĘBIE RĘKI

Zaangażowanie zespołu rehabilitacyjnego w proces protezowania jest niezbędne, gdyż znajomość oceny dojrzałości nerwowo-mięśniowej oraz rozwoju psychoruchowego

dziecka dostarcza protezy informacji o nieocenionej wartości. Dobór protezy powinien uwzględniać również inne choroby i anomalie, styl życia oraz realną siłę mięśni, które mają zasilać protezę. Nie mniej ważne są oczekiwania członków rodziny dziecka, ich pozytywne ustosunkowanie się ma znaczący wpływ na akceptację proponowanego zaopatrzenia [4, 8, 9].

Protezy stosuje się w celu zastąpienia i odtworzenia funkcji danej części narządu ruchu. Protezy kończyn górnych służą ponadto kompensacji utraconych funkcji ruchowych ręki, zwłaszcza chwytu [6, 9].

Każda zachowana część ręki ma ogromną wartość dla odzyskania sprawności, dlatego też przy amputacjach w obrębie ręki stosuje się regułę minimum. Takie samo przekonanie dotyczy postępowania w przypadku wrodzonej hipoplazji któregokolwiek z palców ręki. Amputacji dokonuje się jedynie wtedy, gdy zachowana część nie ma wartości funkcjonalnej [4, 9].

OGÓLNY PODZIAŁ PROTEZ KOŃCZYN GÓRNYCH

Wśród protez kończyn górnych wyróżnia się protezy kosmetyczne oraz funkcjonalne. Protezy funkcjonalne ze względu na sposób sterowania dzielą się na czynne – zasilane własnym lub obcym źródłem energii oraz bierne – sterowane za pomocą drugiej, sprawnej kończyny.

Protezy czynne dzielą się na [9]:

- mechaniczne, sterowane siłą mięśni użytkownika poprzez zastosowanie elementów biernych takich jak taśmy, linki czy cięgiła,
- elektromechaniczne, w ich konstrukcji znajduje się bateria – jej mikrowłącznik uruchamiany jest za pośrednictwem ruchów obręczy kończyny górnej, co z kolei wprawia w ruch palce protezowe,
- bioelektryczne, sterowanie realizowane jest przez mioelektryczne sygnały z aktonów mięśniowych, które są wychwytywane, a następnie przetwarzane na ruch przez wbudowane w protezę elektrody,
- hybrydowe, mają mieszane źródło energii (bierne i czynne).

Protezy kosmetyczne nie mają wartości czynnościowej, ich stosowanie ogranicza się zazwyczaj do poprawy estetyki w celu zamaskowania wady. W skład ich konstrukcji wchodzi lej kikutowy oraz rękawica, bądź jej część imitująca naturalną rękę, najczęściej wykonana z silikonu [8, 9].

PROCES PROTEZOWANIA DZIECI Z WRODZONYMI WADAMI KOŃCZYN

Można spotkać się ze zdaniem, iż stosowanie protez u dzieci z wrodzonymi wadami kończyn górnych jest zbędne. Według T. Myśliborskiego takie przekonanie wynika z deficytu wiedzy na temat ich potrzeb funkcjonalnych oraz z istniejących przeszkód technicznych w konstruowaniu protez dziecięcych, które są miniaturami protez stosowanych przez osoby dorosłe [10].

Podczas procesu protezowania dzieci należy wziąć pod uwagę, to że ich układ kostno-stawowy odznacza się dużą plastycznością, a mechanizmy kompensacyjne przychodzą z niezwykłą łatwością. W związku z powyższym, protezy w przypadku dzieci z wrodzonymi wadami kończyn po-

winny być wprowadzone możliwie najwcześniej. Wczesne stosowanie protez zapobiega utrwalaniu się patologicznych zmian kostnych, które w następstwie powodują trwałe zniekształcenia. Należy dążyć do poprawy funkcjonalności danej części ciała, funkcja kosmetyczna ma znaczenie drugorzędne. Zbyt późne protezowanie, ukierunkowane jedynie na poprawę kosmetyki, nie będzie efektywne. Proces adaptacji do zmieniających się warunków ulegnie wydłużeniu – wówczas dziecko może nie zaakceptować dobranej protezy. Odpowiednie dostosowanie zaopatrzenia ortopedycznego do możliwości i potrzeb pacjenta, stanu ogólnej sprawności, a także dojrzałości nerwowo-mięśniowej ma znaczący wpływ na efektywność użytkowania sprzętu [4, 8, 10].

Protezowanie dzieci ma również na celu utrwalenie prawidłowego schematu ciała, co potwierdza trwały związek i zależność pomiędzy procesem rehabilitacji a stosowaniem zaopatrzenia ortopedycznego. Ponadto stosowanie protez w wieku dziecięcym utrwala prawidłowe wzorce kinetyczne oraz wyrównuje zaburzenia statyki ciała, które powstają na skutek braku ciężaru utraconej na drodze wad wrodzonych części kończyny [4, 10].

Konstrukcja pierwszej protezy dla dziecka powinna być uproszczona i odznaczać się niską masą. Z uwagi na intensywny rozwój w wieku dziecięcym istnieje konieczność okresowych przeglądów protezy. Ponadto zaopatrzenie musi być sukcesywnie wymieniane, a co za tym idzie powinno być możliwe tanie [6, 10].

PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA PROTEZOWANIA WRODZONYCH UBYTKÓW I BRAKÓW PALCÓW

Należy podkreślić, iż żadna proteza w obrębie ręki w pełni nie zastąpi jej naturalnych funkcji, ponieważ nie można całkowicie odtworzyć jej skomplikowanych kinematycznych możliwości oraz proprioceptywnych i sensorycznych funkcji sprzężenia zwrotnego [9].

W przypadku hipoplazji palca/palców przed rozpoczęciem procesu protezowania należy odpowiednio przygotować kikut, co najczęściej polega na jego kształtowaniu za pomocą opasek elastycznych. Należy również stworzyć odpowiednie warunki obciążenia szczytu kikuta w leju. Dąży się również do zapobiegania przykurczów w zachowanych stawach, w obrębie wystąpienia wady oraz do wzmocnienia siły mięśniowej poprzez odpowiednie ćwiczenia usprawniające [4, 8, 10].

W niektórych przypadkach zachowany kikut ma większe znaczenie czynnościowe niż proponowana proteza, wówczas nie stosuje się zaopatrzenia ortopedycznego [9].

Przeszkody pojawiają się w przypadku aplazji palców ręki, szczególnie kciuka. Brak mięśni kłębu znacznie ogranicza możliwości stosowania protez [9, 10].

Zespół, w skład którego wchodzi m.in. inżynierowie, lekarze, studenci i programiści stworzyli grupę *e-NABLE*, specjalizującą się w projektowaniu i konstruowaniu funkcjonalnych protez kończyn górnych z wykorzystaniem technologii druku 3D. Protezy przeznaczone są przede wszystkim dla dzieci z wrodzonym brakiem ręki lub palców. Sterowanie każdą z proponowanych protez odbywa się poprzez ruch w obrębie stawów promieniowo-nad-

garstkowego oraz śródnadgarstkowego. Ruch palców uruchamiany jest za pośrednictwem linek o średnicy 0,9 mm. Koszt wszystkich elementów protezy szacowany jest na ok. 150 zł [11].

Wraz z rozwojem technologii druku 3D liczba protez stale rośnie. Istotną zaletą wykorzystania drukarki 3D jest możliwość łatwego dopasowania konstrukcji do indywidualnych przypadków. Wykorzystanie technologii druku 3D pozwala również znacznie obniżyć koszt protez mioelektrycznych.

INDYWIDUALNY PRZYPADK DZIECKA Z ZESPOŁEM NAGERA

Charakterystyki indywidualnego przypadku dokonano na podstawie wywiadu z terapeutami prowadzącymi rehabilitację oraz rodzicami dziecka. Dokonano oceny siły mięśniowej wybranych mięśni, będących źródłem sił sterujących protezą, zmierzono zakresy ruchów w stawach: łokciowym, promieniowo-nadgarstkowym oraz śródnadgarstkowym. Przedstawiono także ocenę funkcjonalną pacjenta dotyczącą motoryki dużej i małej.

Indywidualny przypadek: chłopiec w wieku 5 lat, ze zdiagnozowanym zespołem Nagera, z obustronnym brakiem kciuków i supinacją rąk.

CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA

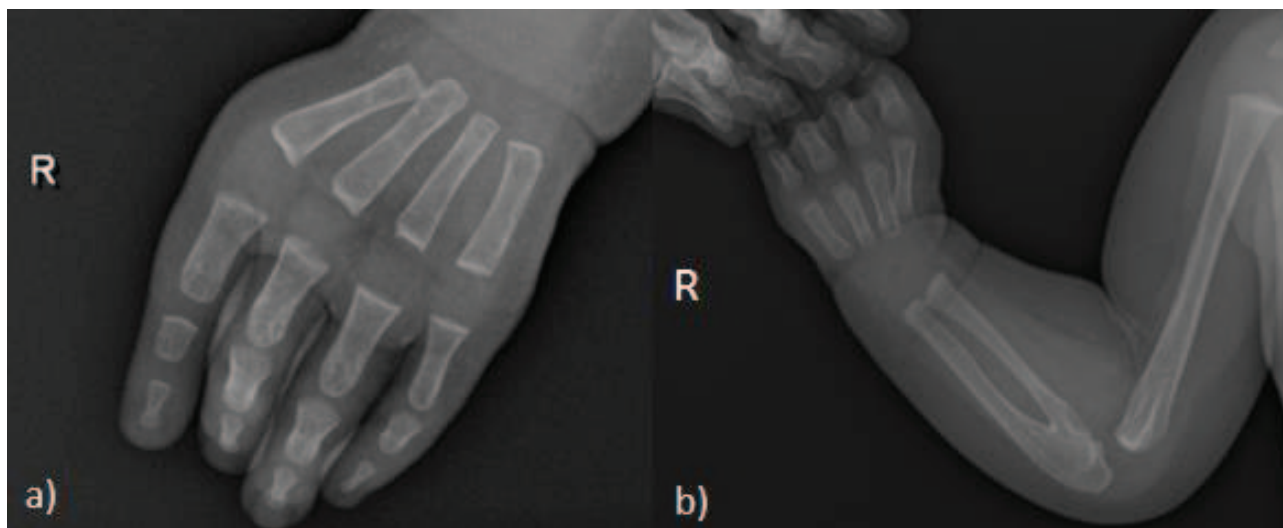
Konsultacja ortopedyczna: na podstawie badania RTG kończyn górnych stwierdzono: wrodzony brak kciuków, kośćczrost promieniowo-łokciowy kończyny górnej prawej i lewej, skrócenie kości promieniowej przedramienia lewego. Poniżej przedstawiono zdjęcia rentgenowskie (ryc.1.) rąk oraz przedramienia kończyny górnej prawej chłopca z zespołem Nagera (ryc.2.).

OCENA FUNKCJONALNA

Ocena funkcjonalna pomocna jest w planowaniu dalszych działań terapeutycznych. W tabeli I. przedstawiono ogólną charakterystykę oraz ocenę motoryki małej i dużej dziecka z zespołem Nagera.

OCENA SIŁY MIĘŚNIOWEJ

W tabeli II zamieszczono ocenę siły mięśniowej kończyny górnej prawej dziecka z zespołem Nagera. Test przeprowadzono dwukrotnie, badając wybrane mięśnie kończyny górnej prawej, które w największym stopniu będą odpowiadały za wprawianie w ruch protezy.



Ryc. 1. Zdjęcia RTG ręki prawej (a) oraz kończyny górnej prawej (b) dziecka z zespołem Nagera [źródło własne].

The right hand X-ray images (a) and upper limb (b) of the child with the Nager syndrome



Ryc. 2. Ręka i przedramię kończyny górnej prawej dziecka z zespołem Nagera [źródło własne]. *The right hand and forearm of the child with Nager syndrome*

Tab. I. Ocena funkcjonalna pacjenta. *Functional assessment of the patient*

Charakterystyka ogólna <i>General characteristics</i>
Dziecko ma drobną budowę ciała – poniżej 3 centyla, funkcje motoryki są zaburzone z uwagi na wiotki gorset mięśniowy oraz kośćciorosty promieniowo-łokciowe. Przebieg rozwoju psychoruchowego jest zaburzony i nieharmonijny z powodu mnogości wad wrodzonych (m.in. obustronny brak kciuków, kośćciorost promieniowo-łokciowy) oraz niedosłuchu znacznego stopnia.
Motoryka duża <i>Gross motor skills</i>
Pacjent chodzi samodzielnie, lecz chód jest mało sprawny, próbuje biegać, ale bieg jest nieskoordynowany (np. potyka się) z uwagi na zaburzenia równowagi. Stwierdzono słaby odruch podporu podczas padania z uwagi na brak kciuków (mniejsza powierzchnia podparcia) oraz przykurcze zgięciowe w obrębie stawów łokciowych.
Motoryka mała <i>Fine motor skills</i>
Stwierdza się brak opozycji w dłoniach, upośledzających ich funkcję. Największy problem sprawia dziecku brak możliwości wykonania chwytów siłowych. Wybiera on zabawki i przedmioty o zróżnicowanej fakturze, ponieważ takie łatwiej utrzymać w ręku. Przedmioty gładkie lub o lakierowanej powierzchni są śliskie - wypadają z dłoni i trudno nimi manipulować. Chłopiec na drodze mechanizmu kompensacji wypracował chwytanie przedmiotów, używa do tego palca wskazującego, który pełni funkcje ruchowe kciuka, chociaż z mniejszą precyzją. Obserwuje się stosunkowo (w odniesieniu do mnogości wad kończyn górnych) dobrą koordynację ruchową kończyn górnych .

Tab. II. Ocena siły mięśniowej dziecka z zespołem Nagera wg testu Lovetta. *Evaluation of muscular strength of a child with the Nager's syndrome according the Lovett test*

Prawa Right	25.05.2015	23.11.2015	Mięsień Muscle	Wykonywany ruch Movement	Unerwienie obwodowe Peripheral Innervation	Unerwienie segmentarne Segmental innervation	
	3-	3-	m. dwugłowy ramienia (pk*)	zginanie/odwracanie	nerw promieniowy	C5–C6	
Staw łokciowy/przedramię Elbow joint/forearm	3+	4	m. nawrotny obły	Nawracanie		Nerw pośrodkowy	C6–C7
	3	3+	m. nawrotny czworoboczny	Nawracanie		Nerw międzykostny przedni	C6–C8, Th1
	4-	4-	m. ramiennie-promieniowy	Zginanie			C5–C6
	4	4	m. trójgłowy	Prostowanie			C6–C8
	3+	3+	m. odwracacz	Odwracanie			C5–C8
	5	5	m. prostownik wskaziciela	zgięcie grzbietowe/ odwodzenie			C7–C8
	4	4+	m. prostownik palców	zgięcie grzbietowe			C6–C8
	4-	4	m. prostownik łokciowy nadgarstka	zgięcie grzbietowe/ przywodzenie			C6–C8
	4	4+	m. prostownik promieniowy długi nadgarstka	zgięcie grzbietowe/ odwodzenie			C5–C7
	3+	4-	m. zginacz łokciowy nadgarstka	zgięcie dłoniowe/ przywodzenie	nerw łokciowy	C7–C8, Th1	
Ręka Hand	4+	4+	m. zginacz promieniowy nadgarstka	zgięcie dłoniowe/ odwodzenie	gałąź nerwu pośrodkowego	C6–C8	

*pk – przykurcz

POMIARY ZAKRESÓW RUCHÓW W WYBRANYCH STAWACH KOŃCZYNY GÓRNEJ PRAWEJ

Ze względu na brak możliwości wykonania pomiarów czynnych zakresów ruchów w stawach – z uwagi na niedosłuch znacznego stopnia, a co za tym idzie brak współpracy dziecka, wykonano pomiary biernych zakresu ruchów. W tabeli III. zamieszczono dane dotyczące zakresów ruchów w stawach łokciowym, promieniowo-nadgarstkowym oraz śród nadgarstkowym kończyny górnej prawej.

Tab. III. Biernie zakresy ruchów w stawach łokciowym, promieniowo-nadgarstkowym i śród nadgarstkowym kończyny górnej prawej u dziecka z zespołem Nagera. *Passive range of motions in elbow, radiocarpal and midcarpal joints of the right upper limb in a child with Nager's syndrome*

Staw łokciowy <i>Elbow joint</i>	
wyprost – 0 – zgięcie <i>extension – 0 – flexion</i>	bierny: S 0°–30°–100°
nawracanie–0–odwracanie <i>eversion – 0 – inversion</i>	bierny: R 60°–0–60°
Staw promieniowo-nadgarstkowy/ Staw śród nadgarstkowy <i>Radiocarpal joint/Midcarpal joint</i>	
zgięcie grzbietowe – 0 – zgięcie dłoniowe <i>dorsiflexion – 0 – plantarflexion</i>	bierny: S 70°–0–80°
odwodzenie – 0 – przywodzenie <i>abduction – 0 – adduction</i>	bierny: F 20°–0–50°

Powyższy zapis zakresów ruchów w stawie łokciowym w płaszczyźnie strzałkowej oznacza, iż do pełnego wyprostu brakuje 30°, natomiast do pełnego zgięcia–50°. Pełen zakres ruchu wynosi 70°. Taką sytuację określa się jako przykurcz zgięciowo-wyprostny w stawie łokciowym. Odwracanie i nawracanie przedramienia ograniczone jest o 30°. Przyczyną ograniczenia powyższych zakresów ruchów jest kośćcizrost promieniowo–łokciowy.

Zakresy ruchów w stawach promieniowo–nadgarstkowym oraz śród nadgarstkowym są w normie.

WŁASNA KONCEPCJA ZAPROTEZOWANIA KCIUKA DLA DZIECI Z ZESPOŁEM NAGERA

Protezę zaprojektowano indywidualnie dla dziecka z zespołem Nagera – zgodnie z zaleceniami literatury odnoszącej się do zaopatrzenia ortopedycznego w wieku dziecięcym [4, 5, 10]. Zaproponowana konstrukcja może być użytkowana przez dzieci z wrodzonym brakiem kciuka tylko po wnikliwym określeniu ich ogólnej sprawności, dojrzałości nerwowo-mięśniowej i rozpatrzeniu pozostałych współistniejących wad wrodzonych.

ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE

- funkcjonalne użytkowanie protezy–możliwość wykonywania chwytów siłowych: cylindrycznego, sferycznego–zbliżonych do anatomicznych,
- sterowanie protezą odbywa się w sposób mechaniczny za pośrednictwem linek sterujących – źródłem

sił sterującymi protezą są głównie mięśnie przedramienia,

- zastosowanie elementów biernych tj. taśm – elementów niezbędnych dla zapewnienia stabilnego użytkowania sprzętu oraz wyściółki o zróżnicowanej fakturze – w celu zapewnienia maksymalnego komfortu,
- kciuk złożony z dwóch paliczków.

Charakterystyka zdolności manualnych (motoryki małej) kładzie nacisk na fakt, że brak kciuka znacznie upośledza możliwości funkcjonalne ręki, a na etapie rozwojowym, na którym znajduje się dziecko należy umożliwić wykonywanie czynności związanych przede wszystkim z chwytami siłowymi.

Ponadto informację o tym, iż dziecko nie toleruje przedmiotów o gładkiej i lakierowanej fakturze wykorzystano jako kolejne założenie–wyścielenie obejmę przedramienia wyściółką ze spienionego tworzywa sztucznego, a obejmę ręki – skórą techniczną. Konstrukcja protezy zakłada więc zróżnicowaną fakturę. Ze względu na przejęcie funkcji kciuka przez palec II, konstrukcja nie uwzględnia ustawienia paliczków kciuka w pozycji anatomicznej.

Test Lovett'a potwierdził, iż badane mięśnie mogą być źródłem sił sterujących protezą. Nie stwierdzono również uszkodzenia nerwów obwodowych – w przeciwnym razie zaprotezowanie dziecka byłoby niemożliwe.

Pomiary zakresów ruchów w stawach pozwoliły na upewnienie się, iż dziecko będzie w stanie sterować protezą w założonym zakresie.

Powyższe informacje stały się fundamentem do obrania założeń konstrukcyjnych.

ETAP WSTĘPNY POPRZEDZAJĄCY PROCES PROJEKTOWANIA

Przed przystąpieniem do projektowania protezy wykonano negatyw gipsowy dłoni i przedramienia kończyny górnej prawej. Następnie utworzono pozytywny gipsowy oraz utworzono kciuk–w pozycji anatomicznej. Z tak przygotowanego pozytywu zebrano niezbędne miary.

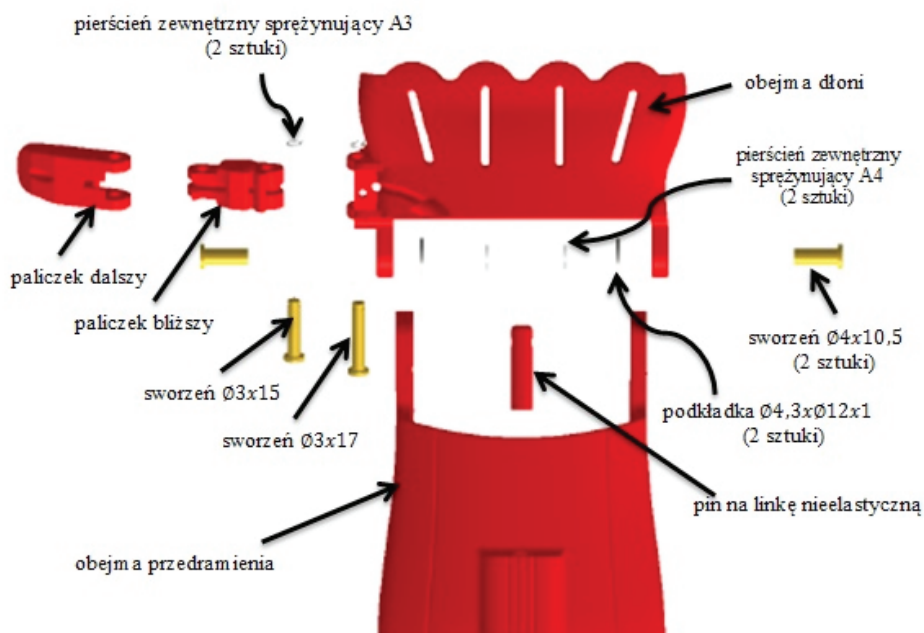
FUNKcjONALNA PROTEZA KCIUKA – PROJEKT WŁASNY

Na podstawie zebranych z pozytywu gipsowego miar przystąpiono do projektowania komponentów wchodzących w skład funkcjonalnej protezy kciuka w programie *Solid Works*. Następnie, przed procesem drukowania 3D wszystkie pliki zapisano w formacie .STL.

Podczas zbierania miar z pozytywu należało uwzględnić grubość wyściółki, a także gabaryty pozostałych elementów, które będą znajdować się po wewnętrznej stronie obejmę przedramienia i dłoni. Wszystkie podane poniżej wartości uwzględniają wymiary pozostałych komponentów użytych w konstrukcji prototypu.

Na poniższej rycinie (ryc.3) przedstawiono własną koncepcję funkcjonalnej protezy kciuka dla dzieci z zespołem Nagera.

Elementy protezy wykonano z użyciem technologii druku 3D. Zaletami tego typu wykonania prototypu niewątpliwie jest niski koszt produkcji, ewentualnej wymiany części oraz możliwość skalowania poszczególnych ele-



Ryc. 3. Własna koncepcja funkcjonalnej protezy kciuka dla dzieci z zespołem Nagera. *Own conception of a functional thumb prosthesis for children with Nager's syndrome.*

mentów protezy wraz ze wzrostem dziecka. Skalowanie komponentów możliwe jest dzięki programom umożliwiającym obróbkę pliku .STL.

Przez drukowanie 3D należy rozumieć proces, w którym budowane są trójwymiarowe obiekty. Istotą druku 3D jest nakładanie kolejnych warstw materiału—filamentu. Obiekt wirtualny jest tworzony przy użyciu oprogramowania CAD (ang. Computer Aided Design -projektowanie wspomagane komputerowo) [14].

Istnieje wiele technik drukowania, jedną z najpopularniejszych jest FDM (ang. fused deposition modeling). W tej technologii wykorzystywane są przede wszystkim tworzywa sztuczne ABS (kopolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy) oraz biodegradowalny polimer PLA (poliaktyd) [14].

Prototyp wydrukowano na drukarce 3D *FORTUS 360mc*. W tym przypadku użyto materiału ABS-M30, produkcji firmy Stratasys – kompatybilnego z drukarką. Wydrukowane elementy wraz z materiałem podporowym przedstawiono na rycinie 4.

ISTOTA STEROWANIA PROTEZĄ

Źródłem sił sterujących protezą w największym stopniu są mięśnie przedramienia. Istotą działania protezy jest ruch zgięcia dłoniowego i grzbietowego ręki w stawach promieniowo-nadgarstkowym oraz śródnadgarstkowym. Zginanie kciuka sprzężone jest ze zgięciem dłoniowym (ryc. 5), natomiast powrót kciuka do pozycji neutralnej – ze zgięciem grzbietowym ręki (ryc. 6).

TEST FUNKCJONALNOŚCI ZAPROTEZOWANEJ RĘKI

W trakcie treningu pacjent był uczony sześciu podstawowych funkcji chwytnych dłoni wg. Schlesingera: chwytu szczypcowego, trójpunktowego, hakowego, cylindrycznego, koncentrycznego i bocznego [16, 17].



Ryc. 4. Wykonane na drukarce *FORTUS 360mc* elementy protezy wraz z rozpuszczalnym materiałem podporowym. *Prosthetic elements with soluble support material made on the FORTUS 360mc printer*

Po okresie czterech miesięcy użytkowania protezy przeprowadzony został test zdolności zaprotezowanej ręki do wykonywania wyżej wymienionych chwytów:

- szczypcowy (precyzyjny) – dziecko chwyta drobne przedmioty i wrzucało do pojemnika. Problem sta-

nowią jedynie przedmioty małe, okrągłe o gładkiej i śliskiej powierzchni,

- trójpunktowy (precyzyjny) - dziecko utrzymuje w ręce łyżkę, kredkę z nasadką. Trudności pojawiają się podczas wykonywania bardzo precyzyjnych ruchów wymagających koordynacji wzrokowo-ruchowej np. jedzenie płynnego posiłku,
- hakowy (siłowy) – dziecko utrzymuje w dłoni dziecięcy plecak z niewielkim obciążeniem,
- cylindryczny (siłowy) – pacjent pewnie trzyma przedmioty w kształcie walca np. kubek z napojem oraz chwyta się poręczy, idąc po schodach,
- koncentryczny (siłowy) – dziecko pewnie trzyma piłkę, łapie ją i odrzuca.

Dodatkowo zaobserwowano, że dzięki ustabilizowaniu nadgarstka poprzez obejmę przedramienia – integralną część protezy oraz ustawienie go w pozycji pośredniej, uzyskano lepszą precyzję podczas wykonywania czynności chwytnych dłoni. Poprawiła się również siła mięśniowa - ustawienie nadgarstka w pozycji pośredniej spowodowało, że mięśnie rozpoczynały pracę na jednakowej pozycji wyjściowej.

Z uwagi na wrodzony zrost promieniowo-łokciowy dziecko ma problemy w czynnościach wymagających ruchu nawracania i odwracania nadgarstka. Brak ruchu obrotowego przedramienia jest w trakcie czynności rekompensowany w niewielkim stopniu przez atywizację mięśni obręczy barkowej.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Celem pracy było przedstawienie zaprojektowanego prototypu funkcjonalnej protezy kciuka ręki prawej dla dzieci z zespołem Nagera.

Zaprezentowany prototyp przyczyni się do osiągnięcia większego poziomu samodzielności w wykonywaniu czynności dnia codziennego przez dzieci z zespołem Nagera.

Postęp techniki sprawił, iż na rynku pojawia się coraz więcej protez dla dzieci, które do złudzenia naśladują anatomiczne ruchy ręki. Często ich koszt przewyższa jednak możliwości finansowe rodziców. Biorąc pod uwagę, iż dla wieku dziecięcego charakterystyczny jest intensywny rozwój układu ruchu, co pociąga za sobą konieczność częstej wymiany protezy, wykorzystanie technologii druku 3D znacznie obniży poniesione koszty.

Rozpatrzenie indywidualnego przypadku dziecka z zespołem Nagera, a więc kompleksowe podejście do tematu pozwoliło na osiągnięcie założonego celu. Tak wykonany prototyp pozwoli na poprawę funkcjonalności ręki.

Należy nadmienić, że niemożliwe jest stworzenie uniwersalnej protezy kciuka dla dzieci z zespołem Nagera, gdyż dla tej choroby charakterystyczne jest zróżnicowanie rodzaju i nasilenia wad, zarówno w obrębie kończyn górnych, jak i pozostałych współistniejących wad wrodzonych, które przy konstruowaniu protezy należy mieć na uwadze.



Ryc. 5. Pozycja kciuka podczas zginania dłoniowego ręki [źródło własne]. *Position of the thumb during palmar flexion.*



Ryc. 6. Kciuk w pozycji neutralnej [źródło własne]. *The thumb in neutral position.*

Zaopatrzenie ortopedyczne stanowi integralną część leczenia usprawniającego i pełni rolę sprzętu pomocniczego w wielu dziedzinach medycyny. Realizacja treningu samoobsługi i aktywności dnia codziennego przez pacjenta niepełnosprawnego ruchowo wymaga dostosowania zaopatrzenia ortopedycznego do indywidualnych potrzeb oraz powinna uwzględniać dodatkowe niepełnosprawności typu niedosłuch czy niepełnosprawność intelektualną. Dlatego zaprojektowanie i wykonanie odpowiedniego przedmiotu ortopedycznego wymaga od technika ortopedy wiedzy zarówno z zakresu anatomii i fizjologii, jak również z zakresu biomechaniki, nowoczesnych materiałów oraz technik produkcyjnych. Wyzwaniem również jest akceptacja oraz nauczenie pacjenta korzystania z protezy podczas zabawy i codziennych czynności.

W przypadku pacjenta z zespołem Nagera dodatkowy problem stanowi obustronny niedosłuch znacznego stopnia, jak również brak mowy czynnej, co skutkuje trudnościami w porozumiewaniu się z dzieckiem. Niezwykle istotne dla poprawy jakości funkcjonowania dłoni jest zaprojektowanie oraz precyzyjne wykonanie indywidualnego zaopatrzenia ortopedycznego, dostosowanego do aktualnych potrzeb i możliwości psychofizycznych pacjenta.

Przyzwyczajanie się do używania protezy wymaga czasu oraz konsekwencji, zarówno ze strony rodziców, jak i terapeutów. Proces adaptacji pacjenta do użytkowania protezy kciuka rozpoczyna się od stopniowego przyzwyczajania go do nowej sytuacji poprzez stopniowe wydłużanie czasu jej noszenia. Następnym etapem jest specjalny trening do uzyskania prawidłowych nawyków użytkowania protezy, najpierw podczas zabawy celowej, następnie w trakcie czynności samoobsługowych.

Wskazana jest kontynuacja treningu czynności manualnych, samoobsługowych, ćwiczenia koordynacji wzrokowo-ruchowej oraz ćwiczenia ogólnousprawniające poprawiające wydolność i wzmacniające siłę mięśniową.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Bozatloğlu R., Munevveroğlu A.: Dental Management of Patient with Nager Acrofacial Dysostosis: Case Reports in Dentistry. Hindawi Publishing Corp., 2015.
- [2] Lin Ju-Li.: Nager Syndrome. A Case Report, Pediatrics and Neonatology. 2012; 53: 147-150.
- [3] Błaszczak J.: Biomechanika kliniczna. PZWL, Warszawa 2004.
- [4] Karski T., Kowalski M. [red.]: Wrodzone braki, ubytki i przerosty kończyn u dzieci. Tom V. Wydawnictwo Folium, Lublin 1999.
- [5] Dega W. [red.]: Ortopedia i Rehabilitacja. Tom I, Wydanie III, PZWL, Warszawa 1983.
- [6] Dziak A., Gusta A., Żuk T.: Podstawy ortopedii i traumatologii. Wydanie III. PZWL, Warszawa 1980.
- [7] Conolly W., R. Prosser R.: [red.]: Rehabilitation of the Hand & Upper Limb. Elsevier, Eastbourne 2003.
- [8] Dega W. [red.]: Ortopedia i Rehabilitacja, Tom II, Wydanie III, PZWL, Warszawa 1984.
- [9] Atkins D., Meier R.: Comprehensive Management of the Upper-Limb Amputee. Springer-Verlag, New York 1989.
- [10] Myśliwski T.: Zaopatrzenie ortopedyczne (protetyka i ortotyka). Wydanie IV. PZWL, Warszawa 1985.
- [11] <http://enablingthefuture.org/upper-limb-prosthetics/> [dostęp: 10.02.2017].
- [12] Milanowska K.: Kinezyterapia. Wydanie VI, PZWL, Warszawa 2003.
- [13] Kendall Peterson F. and oth.: Muscles: Testing and Function with Posture and Pain, 5th ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2005.
- [14] Bell Ch.: Maintaining and Troubleshooting Your 3D Printer. Springer, New York 2014.
- [15] <http://www.stratasys.com/materials/fdm/abs-m30> [dostęp: 23.01.2017]
- [16] Orzech J.: Monografia treningu siły mięśniowej, Tom III: Siła mięśni człowieka, Wydanie II. Tarnów: Wydawnictwo Sport i Rehabilitacja, 2002.
- [17] Tejszerska D., Świtoński E., Gzik M. [red.]: Biomechanika narządu ruchu człowieka, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Gliwice 2011.

Adres do korespondencji:

Patrycja Dytrych, Klinika Rehabilitacji Dziecięcej z Ośrodkiem Wczesnej Pomocy Dzieciom Upośledzonym „Dać Szansę” w Białymstoku ul. Waszyngtona 17, 15-274 Białystok, e-mail: dytrych.patrycja@gmail.com