

ANALITYCZNO-NUMERYCZNE WYZNACZANIE SIŁ WYMAGANYCH DO UNIESIENIA GŁOWY NIEMOWLĘCIA W POZYCJI SUPINACYJNEJ PRZY PODCIĄGANIU ZA KOŃCZYNY GÓRNE

ANALYTICAL AND NUMERICAL DETERMINATION OF FORCES REQUIRED FOR LIFTING AN INFANT HEAD IN SUPINE POSITION DURING RISING FOR UPPER LIMBS

Małgorzata Anna Czajkowska^{1,2}, Andrzej Antoni Czajkowski^{3*},
Joanna Pierzak-Sominka⁴

¹ Spółdzielnia Pracy Lekarzy Specjalistów „Medicus”, 70-233 Szczecin, pl. Zwycięstwa 1

² Przychodnia Medyczna „Pramed”, 70-552 Szczecin, al. Wyzwolenia 7

³ Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna, Wydział Transportu Samochodowego,
71-224 Szczecin, ul. Klonowica 14

⁴ Pomorski Uniwersytet Medyczny, Zakład Epidemiologii i Zarządzania PUM,
71-210 Szczecin, ul. Żołnierska 48

*e-mail: czajko2@o2.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono symulacje sił wymaganych do uniesienia głowy niemowlęcia w pozycji supinacyjnej przy podciąganiu za kończyny górne. Symulację przeprowadzono dla 3-miesięcznego niemowlęcia o sile naturalnego obciążenia 47,1 N. Założono, że kąt nachylenia linii działania siły przy podciąganiu za kończyny górne do poziomu wynosi od 15°–60°, a siły mostkowo-obojczykowo-sutkowej wynosi od 5°–15°. Materiał oparto na literaturze z neonatologii. W pracy zastosowano metodę analityczno-numeryczną i symulację komputerową. Pokazano analityczno-numeryczne modelowanie sił mostkowo-obojczykowo-sutkowej i podciągającej kończyny górne. Dla 3-miesięcznego niemowlęcia o sile naturalnego obciążenia 47,1 N i kąta 5° między linią działania siły mięśni mostkowo-obojczykowo-sutkowych oraz kąta 15° między linią działania siły potrzebnej do uniesienia niemowlęcia za kończyny górne a poziomem, obserwuje się ok. 2,5–2,6 razy większą wartość tych sił w porównaniu z siłą naturalnego obciążenia.

Słowa kluczowe: biomechanika, niemowlęcie, siły podnoszące głowę, symulacja, Mathematica

ABSTRACT

The paper presents simulations of some forces required to lifting an infant head in supine position during lifting for upper limbs. The simulation was carried out for 3-month old for natural loading force 47.1 N. It is assumed that the angle of inclination of the line of lifting force for the upper limbs to a level is from 15°–60° and sterno-

-cleidomastoid force from 5° – 15° . Material is some data from neonatology literature. The analytical and numerical method and computer simulation have been used in the paper. Analytical and numerical modeling for sterno-cleidomastoid force and force of lifting upper limbs has been shown. For the 3-month old infant with the natural loading force 47.1 N and 5° of angle between the line of sterno-cleidomastoid force and also 15° angle between the line of action of the force, necessary to lift the upper limbs of the infant and horizon, is from about 2.5–2.6 times greater value of these forces in compare with the natural loading force.

Keywords: biomechanics, infant, forces lifting head, simulation, Mathematica

1. Wstęp

Podczas podciągania dziecka z pozycji leżącej na plecach do siadu, głowa opada do tyłu. Utrzymanie głowy staje się możliwe w trzecim miesiącu życia. Wymaga ono koordynacji czuciowo-ruchowej oraz pracy i napięcia mięśni. Skurcz obu mięśni mostkowo-obojczykowo-sutkowych przy ustalonym i wyprostowanym kręgosłupie w odcinku szyjnym, powoduje uniesienie głowy do przodu [1].

Ocena umiejętności unoszenia głowy wraz z tułowiem jest elementem oceny rozwoju ruchowego dziecka. Do tej oceny służą m.in. test Denver, skala Brunet-Lèzine lub skale Gesella. Test Denver pozwala określić, czy rozwój dziecka jest opóźniony i bada motorykę ogólną, motorykę precyzyjną i adaptacyjną, mowę, kontakty społeczne. Skala rozwoju psychomotorycznego Brunet-Lèzine określa wskaźnik precyzji i koordynacji ruchowej opierający się na obserwacji zabawy dziecka i jego umiejętności piętrzenia klocków. Skale Gesella uwzględniają zachowania motoryczne, adaptacyjne, językowe i społeczne [2].

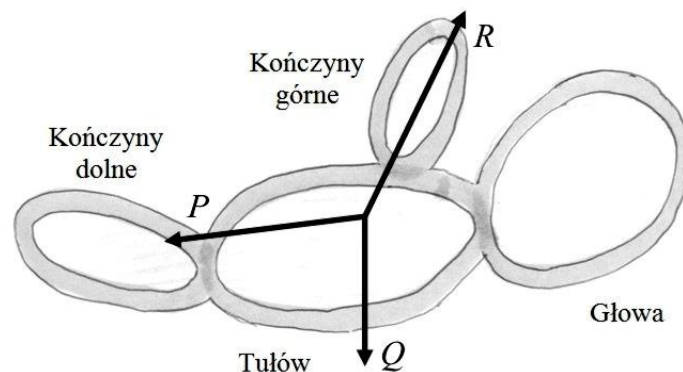
Wiotkość mięśni jest objawem wielu chorób m.in. wad mózgu, mózgowego porażenia dziecięcego, dystrofii mięśniowych, miopatii, miastenii, zespołu Pradera-Williego, niedoboru transportera glukozy, zaburzeń równowagi wodno-elektrolitowej, zakażeń lub zatruc. Badanie zdolności unoszenia głowy przez niemowlę służy ocenie ewentualnych zaburzeń napięcia mięśni – hipotonii osiowej [3, 4].

Praca przedstawia modelowanie analityczno-numeryczno-graficzne sił wymaganych do podniesienia głowy niemowlęcia z pozycji supinacyjnej przy jego podciąganiu za kończyny górne.

2. Mechanika sił wymaganych do uniesienia głowy niemowlęcia w pozycji supinacyjnej przy podciąganiu za kończyny górne

2.1 Model biomechaniczny

Zilustrowano modelowanie sił wymaganych do podniesienia niemowlęcia (ok. 3-miesięcznego), jakie pojawią się w pozycji supinacyjnej przy jego podciąganiu za kończyny górne. Przedstawiono układ tych sił, tj. naturalną siłę obciążającą niemowlę Q , siłę podciągającą kończyny górne R i siłę mięśni mostkowo-obojczykowo-sutkowych P powodującą uniesienie jego głowy do przodu (p. rys. 1). Kąt β między linią działania siły R a poziomem przyjmujemy z przedziału ($15^{\circ}, 60^{\circ}$), a kąt α między linią działania siły P a poziomem odpowiednio z przedziału ($5^{\circ}, 15^{\circ}$). Dla tego modelu wyznaczono analitycznie siły P i R (p. tab. 1).



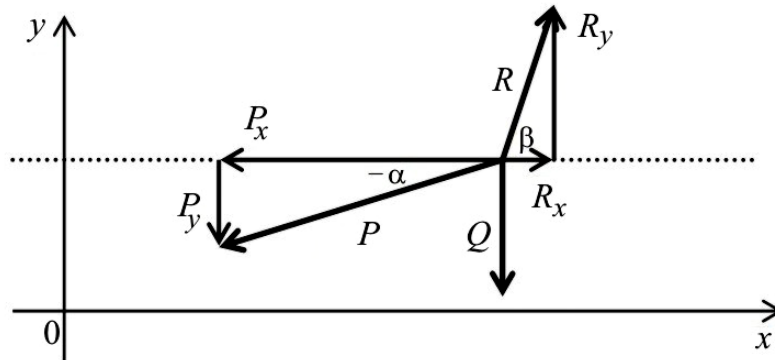
Rys. 1. Układ sił R , P i naturalnego obciążenia Q działających na niemowlę

Tabela 1. Przyjęte oznaczenia sił i kątów wraz z jednostkami

Oznaczenie:	Opis:		Jednostka
Dane	Q	Naturalna siła obciążająca	[N]
	α	Kąt między linią działania siły P a poziomem (zakres)	[rad]
	β	Kąt między linią działania siły R a poziomem (zakres)	[rad]
Szukane	P	Siła mięśni mostkowo-obojczykowo-sutkowych	[N]
	R	Siła działająca przy podnoszeniu za kończyny górne	[N]

2.2 Analiza teoretyczna

W układzie XOY zdefiniowano składowe dla każdej z sił P , R i Q (p. rys. 2).

Rys. 2. Układ składowych sił P i R oraz naturalnego obciążenia Q

Siły P , W i Q w postaci skalarnej są określone następująco [5, 6]:

$$Q = Q_x + Q_y \equiv 0 + Q \quad (1)$$

$$P = P_x + P_y = P\cos(-\alpha) + P\sin(-\alpha) = P\cos(\alpha) - P\sin(\alpha) \quad (2)$$

$$R = R_x + R_y = R\cos(\beta) + R\sin(\beta) \quad (3)$$

Równania równowagi sił, w postaci skalarnej, mają postać:

$$\text{OX} \quad P_x - R_x = 0 \quad (4)$$

$$\text{OY} \quad P_y - R_y = -Q \quad (5)$$

Po uwzględnieniu związków (1)-(3) w równaniach (4) i (5) otrzymujemy układ równań:

$$P\cos(\alpha) - R\cos(\beta) = 0 \quad (6)$$

$$P\sin(\alpha) + R\sin(\beta) = Q \quad (7)$$

Układ równań (6)-(7) rozwiązano stosując metodę wyznacznikową przy założeniu, że jest on układem Cramera (tj. jego wyznacznik główny W jest różny od zera). Zatem do wyznaczenia wartości sił P i R obliczamy z układu równań (6)-(7) wyznaczniki W , W_P , W_R , które mają następującą postać:

$$W = \begin{vmatrix} \cos(\alpha) & -\cos(\beta) \\ \sin(\alpha) & \sin(\beta) \end{vmatrix} = \sin(\beta)\cos(\alpha) + \sin(\alpha)\cos(\beta) = \sin(\alpha + \beta) \quad (8)$$

$$W_P = \begin{vmatrix} 0 & -\cos(\beta) \\ Q & \sin(\beta) \end{vmatrix} = Q\cos(\beta) \quad (9)$$

$$W_R = \begin{vmatrix} \cos(\alpha) & 0 \\ \sin(\alpha) & Q \end{vmatrix} = Q \cos(\alpha) \quad (10)$$

gdzie

$$\sin(\alpha + \beta) \neq 0, \quad \alpha \neq -\beta \quad (11)$$

Stosując wzory Cramera

$$P = \frac{W_P}{W} \quad (12)$$

$$R = \frac{W_R}{W} \quad (13)$$

rozwiązanie układu równań (6),(7) ma ostateczną następującą postać:

$$P = \frac{Q \cos(\beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (14)$$

$$R = \frac{Q \cos(\alpha)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (15)$$

2.3 Analiza numeryczna

Wzrastanie noworodków przebiega bardzo indywidualnie, zależnie od uwarunkowań genetycznych i środowiskowych.

Dla zdrowych donoszonych noworodków (urodzonych pomiędzy 38 a 42 tygodniem ciąży) naturalna siła obciążająca wynosi 24,5–39,2 N. Naturalna siła obciążająca u donoszonego noworodka w pierwszych dniach życia często zmniejsza się o 10–15% w stosunku do naturalnej siły obciążającej zaraz po urodzeniu, którą ponownie osiąga on pod koniec 1-go tygodnia życia.

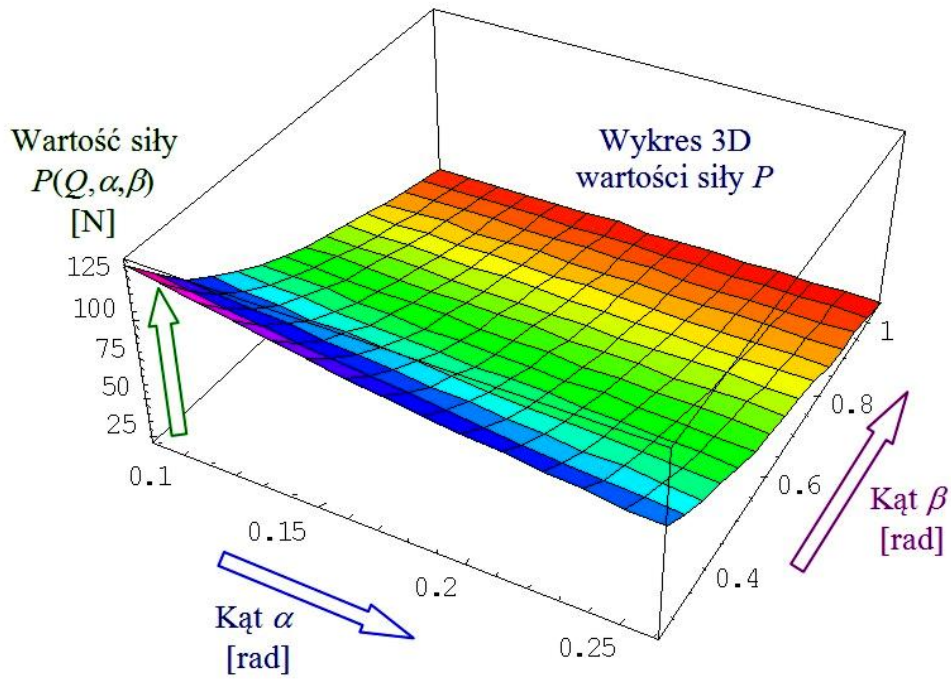
Dla niemowlęcia w 1-szym miesiącu życia naturalna siła obciążająca zwiększa się o około 5,88 N, a w następnych 2 miesiącach o 7,85–8,83 N miesięcznie, później rośnie ono nieco wolniej do 6-go miesiąca życia około 6,86 N/miesiąc, a w okresie 6–12 miesięcy życia około 4,9 N/miesiąc [7]

Do analizy numerycznej przyjmujemy, że naturalna siła obciążająca wynosi 3-miesięcznego niemowlęcia wynosi ok. 47,1 N (po urodzeniu ok. 33,3 N). Zakłada się, że kąt między linią działania siły R a poziomem $\beta \in (15^\circ, 60^\circ)$, a między linią działania siły P a poziomem $\alpha \in (5^\circ, 15^\circ)$.

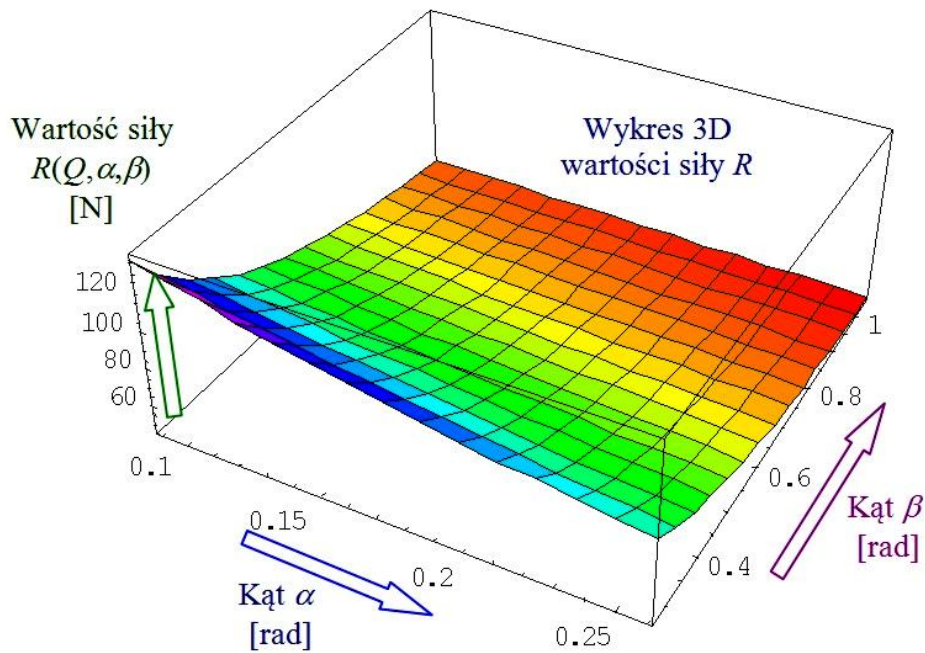
Należy wyznaczyć wartości siły P mięśni mostkowo-obojczykowo-sutkowych potrzebnej do uniesienia głowy niemowlęcia i wartości siły R potrzebnej do uniesienia niemowlęcia za kończyny górne, przy działającym naturalnym obciążeniu Q .

Program dla wartości sił P oraz R i ich interpretacji graficznej w układzie 3D (Mathematica) [8]

```
Q:=47,1;
P=Q*Cos[beta]/Sin[alpha+beta];
R=Q*Cos[alpha]/Sin[alpha+beta];
Plot3D[P,{alpha,5*Pi/180,15*Pi/180},{beta,15*Pi/180,60*Pi/180},
ColorFunction->Hue]
Plot3D[R,{alpha,5*Pi/180,15*Pi/180},{beta,15*Pi/180,60*Pi/180},
ColorFunction->Hue]
```



Rys. 3. Wykres 3D siły P dla obciążenia $Q = 47,1$ N i dla kątów $\alpha \in (5^\circ, 15^\circ)$, $\beta \in (15^\circ, 60^\circ)$



Rys. 4. Wykres 3D siły R dla obciążenia $Q = 47,1$ N i dla kątów $\alpha \in (5^\circ, 15^\circ)$, $\beta \in (15^\circ, 60^\circ)$

Tabela 2. Przeliczenie kątów z radianów na stopnie

Kąt α	0,10	0,15	0,20	0,25
	5,7°	8,6°	11,5°	14,3°
Kąt β	0,4	0,6	0,8	1,0
	22,9°	34,4°	45,8°	57,3°

3. Wnioski

- Dla 3-miesięcznego niemowlęcia o sile naturalnego obciążenia $Q = 47,1$ N wraz ze wzrostem kąta α 5° – 15° między linią działania siły P mięśni mostkowo-obojęczkowo-sutkowych obserwuje się spadek jej wartości 122,6–98,1 N przy kącie $\beta = 15^\circ$.
- Dla 3-miesięcznego niemowlęcia o sile naturalnego obciążenia $Q = 47,1$ N wraz ze wzrostem kąta β 15° – 60° między linią działania siły P potrzebnej do uniesienia niemowlęcia za kończyny górne obserwuje się spadek jej wartości 98,1–19,6 N przy kącie $\alpha = 5^\circ$.
- Dla 3-miesięcznego niemowlęcia o sile naturalnego obciążenia $Q = 47,1$ N, kąta $\alpha \approx 5^\circ$ między linią działania siły P mięśni mostkowo-obojęczkowo-sutkowych i kąta $\beta \approx 15^\circ$ między linią działania siły R potrzebnej do uniesienia niemowlęcia za kończyny górne obserwuje się ok. 2,6 większą wartość siły P oraz ok. 2,5 razy większą wartość siły R w porównaniu z wartością siły naturalnego obciążenia Q .

LITERATURA

- [1] R.E. Behrman: *Podręcznik pediatrii. Nelson*, PWN, Warszawa 1996.
- [2] J. Ślenzak, R. Michałowicz: *Ocena rozwoju psychoruchowego dziecka do szóstego roku życia*, PZWL, Warszawa 1975.
- [3] H. Kirpalani, A.M. Moore, M. Perlman: *Podręcznik neonatologii*, Wydawnictwo Medipage, 2009.
- [4] D. Łozińska, I. Twardowska: *Neonatologia*, PZWL, Warszawa 1993.
- [5] T. Bober, J. Zawadzki: *Biomechanika układu ruchu człowieka*, Wydawnictwo BJ, Wrocław 2006.
- [6] N. Özkaya, M. Nordin: *Fundamentals of biomechanics - Equilibrium, motion and deformation*, Springer-Verlag, 1999.
- [7] J. Szczapa: *Neonatologia*, PZWL, Warszawa 2000.
- [8] S. Wolfram: *The Mathematica book*, Wolfram Media & Cambridge University Press, 1999.

otrzymano / submitted: 24.11.2016

wersja poprawiona / revised version: 27.11.2016

zaakceptowano / accepted: 16.12.2016