

Anna Rakowska¹, Sara Tomalak², Katarzyna Ostrzyżek-Przeździecka³, Jakub S. Gąsior³

Ocena globalnych wzorców ruchowych, część I: metoda Prechtl'a – aktualny stan wiedzy na podstawie przeglądu zakresu literatury

General movements assessment, part I: Prechtl's method – the current state of knowledge based on a scoping review

¹ Dział Rehabilitacji Dziecięcej, Dziecięcy Szpital Kliniczny im. Polikarpa Brudzińskiego w Warszawie, Warszawa, Polska

² Oddział Fizjoterapii, Wydział Medyczny, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

³ Klinika Kardiologii Wieków Dziecięcego i Pediatrii Ogólnej, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

Adres do korespondencji: Katarzyna Ostrzyżek-Przeździecka, Klinika Kardiologii Wieków Dziecięcego i Pediatrii Ogólnej, Warszawski Uniwersytet Medyczny, ul. Żwirki i Wigury 61, 02-091 Warszawa, e-mail: kostrzyzek@wum.edu.pl; Jakub S. Gąsior, Klinika Kardiologii Wieków Dziecięcego i Pediatrii Ogólnej, Warszawski Uniwersytet Medyczny, ul. Żwirki i Wigury 61, 02-091 Warszawa, e-mail: jgasiors@wum.edu.pl

ORCID iDs

1. Anna Rakowska <https://orcid.org/0000-0002-7384-4031>

2. Sara Tomalak <https://orcid.org/0000-0003-0965-488X>

3. Katarzyna Ostrzyżek-Przeździecka <https://orcid.org/0000-0001-9565-4952>

4. Jakub S. Gąsior <https://orcid.org/0000-0002-2009-2200>

Streszczenie

W związku z rozwojem medycyny pre- i postnatalnej, a w rezultacie zwiększoną przeżywalnością noworodków z grup ryzyka, wzrasta liczba dzieci, które już na pierwszych etapach życia wymagają wielospecjalistycznej opieki i podjęcia działań z zakresu wczesnej interwencji. Zidentyfikowanie nieprawidłowości w początkowych fazach rozwoju pozwala na wczesne wdrożenie leczenia, a zatem zwiększa szanse na dobry efekt terapeutyczny. Podstawą oceny rozwoju dziecka jest obserwacja motoryki i zachowania, kluczowy jest jednak prawidłowy dobór metod obserwacji i oceny. Ocena globalnych wzorców ruchowych metodą Prechtl'a (*general movements assessment*, GMsA) stosowana u dziecka w pierwszym półroczu życia umożliwia identyfikację i przewidywanie zaburzeń neurorozwojowych już na wczesnym etapie rozwoju. Celem pracy jest zaprezentowanie metody Prechtl'a na podstawie przeglądu zakresu literatury oraz podsumowanie wiedzy na ten temat. Praca ukazuje najważniejsze kwestie związane z procedurą badania, rzetelnością, wiarygodnością i zgodnością narzędzia oraz z jego wykorzystaniem w predykcji zaburzeń neurorozwojowych. Dodatkowo przeanalizowano zastosowanie GMsA w połączeniu z metodami neuroobrazowymi i skalami służącymi do oceny rozwoju neuromotorycznego oraz podsumowano wiedzę dotyczącą użycia nowych technologii w celu automatyzacji GMsA. Ze względu na nieinwazyjny charakter, dużą dostępność, łatwość zastosowania i przede wszystkim skuteczność metody zwrócono uwagę na jej użyteczność w praktyce klinicznej. Znajomość GMsA pozwala na uważniejszą obserwację motoryki dziecka, a dzięki temu może pomóc zarówno lekarzom czy terapeutom, jak i rodzicom we wczesnej identyfikacji zaburzeń neurorozwojowych i szybkim wdrożeniu optymalnego leczenia i rehabilitacji.

Słowa kluczowe: ocena globalnych wzorców ruchowych, metoda Prechtl'a, rozwój neuromotoryczny

Abstract

Advances in pre- and postnatal care have resulted in increased survival rates of infants in risk groups. Consequently, a growing number of children need interdisciplinary care and early intervention in the first stages of life. Early detection of developmental abnormalities may allow for a more effective therapy. Observation of motor and behavioural skills is one of the crucial elements in the assessment of child's development. Prechtl's assessment of general movements is used in the first six months of a child's life. It enables the identification and prediction of neurodevelopmental disorders. The aim of the study was to present Prechtl's method and summarise knowledge about this approach based on a literature review of PubMed medical database. The key issues related to the assessment procedure, including reliability, consistency and compliance of the method, as well as its use for predicting neurodevelopmental disorders were discussed. Additionally, combined use of the tool with neuroimaging methods for assessing neuromotor development, and knowledge of the use of novel technologies for automatization of the general movements assessment were summarised. Due to its non-invasiveness, availability, and ease of implementation, the method has a wide use in clinical practice. Prechtl's method allows for a careful observation of the child's motor skills and may allow both clinicians and parents for early identification of neurodevelopmental disorders.

Keywords: general movements assessment, Prechtl's method, neuromotor development

WPROWADZENIE

Perinatologia jest stale rozwijającą się dziedziną medycyny. Właściwy nadzór medyczny nad kobietami w ciąży stanowi podstawę prawidłowej opieki nad dzieckiem w trakcie ciąży i po porodzie (Khorrami *et al.*, 2019). Pojawienie się nowych metod diagnostyki prenatalnej oraz interwencji w okresie płodowym, a także diagnostyki postnatalnej umożliwia podjęcie działań profilaktycznych lub leczniczych przed urodzeniem dziecka i/lub specjalistycznego leczenia tuż po porodzie (Frøen *et al.*, 2008). Wykazano, że wystandaryzowane oceny neurobehawioralne stosowane u dzieci urodzonych przedwcześnie wiążą się z mniejszym stresem fizjologicznym niż standardowa opieka pielęgniarska. W związku z powyższym przeprowadzenie takiej oceny u niemowląt, w celu identyfikacji wczesnych zaburzeń neurorozwojowych, nie jest obciążone ryzykiem pogorszenia stanu klinicznego dziecka (Allinson *et al.*, 2017a).

Do sposobów oceny rozwoju płodu należy monitorowanie jego motoryki/ruchów. Generowane spontanicznie ruchy płodu są integralną częścią typowego rozwoju człowieka (Frøen *et al.*, 2008). Motoryka płodu odzwierciedla dojrzewanie oraz integralność ośrodkowego układu nerwowego (OUN) (Frøen *et al.*, 2008). Istnieje ścisła zależność między aktywnością motoryczną płodu a rozwojem struktur obwodowych i centralnych układu nerwowego (Einspieler *et al.*, 2021). Zarodek zaczyna się ruszać około 7. tygodnia wieku ciążowego. Następnie, po 2–3 tygodniach, pojawia się zbiór wzorców ruchowych, obejmujący zarówno izolowane ruchy kończyn i głowy, jak i ruchy oddechowe. Niektóre prezentowane przez zarodek ruchy pełnią funkcje wewnątrzmaciczne: ssanie i połykanie mają na celu regulację płynu owodniowego, ruchy oddechowe przekładają się na rozwój płuc, ruchy gałek ocznych stymulują różnicowanie komórek siatkówki. Inne ruchy w okresie płodowym są poprzednikami wzorców ruchu obecnych przez całe życie (Einspieler *et al.*, 2021).

W przypadku dysfunkcji dojrzewającego układu nerwowego motoryka płodu się zmienia. Dysfunkcja mózgu manifestuje się ruchem monotonnym. We wczesnych stadiach sekwencji malformacyjnej akinezji płodu, dystrofii miotonicznej i bezmózgowia można zaobserwować ruchy energiczne, urywane, nadmierne. Taki repertuar ruchów może również wskazywać na ostrą niewydolność płodu przed jego zgonem. Ruchy o zmniejszonej amplitudzie i wolnym tempie mogą wystąpić u płodów z zahamowaniem wzrostu, narażonych na małowodzie, cukrzycę u matki lub leki przeciwdrgawkowe stosowane przez matkę. Ubogi repertuar ruchów nie jest wystarczająco specyficzny, aby wskazywać na konkretne zaburzenie neurorozwojowe (Einspieler *et al.*, 2021). Niemniej jednak wczesna identyfikacja ograniczonej/ubogiej motoryki płodu może m.in. ograniczyć liczbę martwych urodzeń (Frøen *et al.*, 2008). W związku z powyższym zaobserwowanie przez matkę zmniejszonych i/lub nieprawidłowych ruchów płodu może być ważnym markerem klinicznym zwiększonego ryzyka zaburzeń neurorozwojowych (Carroll *et al.*, 2019).

Wykazano, że u kobiet, które zaobserwowały zmniejszoną ruchliwość płodu (*decreased fetal movements*, DFM) i/lub długie okresy osłabienia motoryki spontanicznej, występuje większe ryzyko powikłań okołoporodowych, w szczególności ograniczenia wzrostu płodu i/lub urodzenia martwego dziecka (Frøen *et al.*, 2008). Ocena ruchów płodu to ocena subiektywna, dowiedziono jednak, że liczenie ruchów płodu przez matkę – podczas leżenia, najlepiej o takiej porze dnia, kiedy dziecko zwykle jest aktywne – daje wynik przybliżony do rzeczywistej aktywności płodu (oceniającej za pomocą ultrasonografii – USG) (Frøen *et al.*, 2008). Istnieje kilka sposobów liczenia ruchów płodu w określonym przedziale czasowym. Najpopularniejsza metoda liczenia ruchów płodu (*daily fetal movement count*, DFMC) zakłada punkt odcięcia dla DFM wynoszący „10 ruchów lub mniej w ciągu 10 godzin” lub „10 ruchów lub mniej w ciągu 2 godzin” (Frøen *et al.*, 2008). Nie jest to jednak praktyka powszechnie stosowana przez kobiety w ciąży. Ze względu na pewne ograniczenia nie jest to również narzędzie przydatne jako badanie przesiewowe (Saastad *et al.*, 2011). Brakuje dowodów na czułość i swoistość powyższej metody oraz jednoznacznych dowodów, że zmniejsza ona zachorowalność okołoporodową i śmiertelność (Carroll *et al.*, 2019). Mimo iż oczekiwanie na ruchy płodu i wytężona koncentracja na poprawności liczenia mogą być obciążone błędem, a wyniki – niemiernodajne (Frøen *et al.*, 2008), niezależne od definicji liczenie ruchów płodu oraz zwiększanie czujności i świadomości matki są zdecydowanie bardziej wartościowe niż brak obserwacji; głównym celem powinno tu być postrzeżenie przez kobietę znacznego i trwałego zmniejszenia aktywności płodu (Frøen *et al.*, 2008).

W warunkach klinicznych do identyfikacji i przewidywania zaburzeń neurorozwojowych (motorycznych) u dzieci często stosuje się nieinwazyjną ocenę ruchów globalnych (*general movements assessment*, GMsA) dziecka metodą Prechtl'a (Einspieler i Prechtl, 2005). W badaniu obejmującym 179 publicznych i prywatnych szpitalnych oddziałów intensywnej terapii noworodka oraz żłobków z Australii i Nowej Zelandii wykazano, że najpopularniejszym narzędziem oceny jest tam właśnie GMsA (Allinson *et al.*, 2017b). Ze względu na liczne zalety GMsA rekomenduje się w krajach o niskim i średnim poziomie dochodu (Tomantschger *et al.*, 2018). Metodę zapoczątkował austriacki neurolog dziecięcy Heinz Prechtl w latach 80. ubiegłego wieku; wcześniej zgłębiał on stany behawioralne u niemowląt jako wyjaśnienie mechanizmów mózgowych, które modyfikują reaktywność dziecka (Prechtl, 2001, 1997, 1991, 1981; Prechtl i Nolte, 1984). Zwrócił uwagę, że kiedy niemowlę obserwowane jest w swoim zwykłym otoczeniu przez dłuższy czas, nie tylko prezentuje szeroką gamę określonych wzorców zachowań w reakcji na bodźce środowiskowe, ale też wykazuje przedłużone, charakterystyczne, powtarzalne cykle stabilnego zachowania (Prechtl, 1974).

Giovanni Cioni, Fabrizio Ferrari i Heinz Prechtl w swoich pierwszych badaniach nagrywali ruchy/motorykę spontaniczną zdrowych dzieci, urodzonych o czasie. Obserwując

podobieństwa w motoryce i postawie noworodków, stworzyli definicję ruchów globalnych (*general movements*, GMs), opisanych jako „ruchy, które są powolne i obejmują całe ciało. Mogą trwać od kilku sekund do minuty. Charakteryzuje je nieokreślona sekwencja ruchów ramion, nóg, szyi i tułowia. Nasilają się i słabną pod względem intensywności, siły i szybkości. Pomimo tej zmienności należy je traktować jako odrębny wzorec, łatwy do rozpoznania, jeśli jest powtarzalny” (tłumaczenie własne za: Cioni *et al.*, 1989). W kolejnej pracy autorzy podkreślili większe znaczenie diagnostyczne oceny spontanicznej aktywności ruchowej w porównaniu z reaktywnością na bodźce czuciowe, uzasadniając włączenie systematycznej obserwacji motoryki spontanicznej do oceny neurologicznej dzieci urodzonych przedwcześnie, niemowląt, ale również płodów. Co więcej, zaobserwowano zmianę wzorca ruchu zależnie od wieku, co wskazało na rolę monitorowania indywidualnej trajektorii rozwojowej dziecka (Prechtl, 1990). Następne publikacje potwierdzały, że w przypadku uszkodzeń OUN widoczne są u dzieci nieprawidłowe wzorce ruchu, które usystematyzowano i zdefiniowano (Ferrari *et al.*, 1990). Liczne obserwacje wykazały, że u dzieci z niedotlenieniem okołoporodowym zmiany w motoryce spontanicznej mogą być przejściowe – czyli normalizować się w pierwszym tygodniu lub miesiącu życia – albo przedłużone (co najmniej do 22. tygodnia życia) (Prechtl *et al.*, 1993).

Prawidłowe GMs są ruchami złożonymi, występującymi powtarzalnie/regularnie i trwającymi na tyle długo, aby mogły być właściwie zaobserwowane (Einspieler i Prechtl, 2005). Obejmują całe ciało i mają zmienną sekwencję, obejmującą kończyny górne i dolne, szyję i tułów. Zaczynają się i kończą stopniowo, miewają różną intensywność, siłę i szybkość. Rotacja wzdłuż osi kończyn i niewielkie zmiany kierunku ruchu powodują, że ruchy sprawiają wrażenie płynnych i eleganckich, o dużej różnorodności i zmienności. GMs pojawiają się w około 9.–10. tygodniu życia płodowego i trwają do końca pierwszego półrocza życia. Wśród wzorców GMs wyróżnia się ruchy wijące (*writhing movements*, WMs) i drobnookrężne (*fidgety movements*, FMs). Dzieci urodzone o czasie (40. tydzień ciąży) prezentują WMs do 6.–9. tygodnia życia – charakteryzują się one małą lub umiarkowaną amplitudą i małą lub umiarkowaną szybkością oraz eliptyczną formą. Od 6.–9. tygodnia życia stopniowo zastępowane są przez FMs, obecne do około

20. tygodnia (6. miesiąca), czyli do momentu, gdy zaczynają dominować ruchy celowe i antygrawitacyjne. Ruchom drobnookrężnym mogą towarzyszyć m.in. rotacja tułowia, oscylujące (*wiggling-oscillating*) i sakkadowe (*saccadic*) ruchy ramion, manipulacja palcami, sięganie dłońmi do stawów kolanowych (Einspieler i Prechtl, 2005). GMs u dzieci urodzonych przedwcześnie (*preterm GMs*; przed 40. tygodniem ciąży) mają większą amplitudę i prędkość w porównaniu z WMs obserwowanymi u dzieci urodzonych o czasie (Aizawa *et al.*, 2021).

Uszkodzenie OUN prowadzi do występowania nieprawidłowych GMs. GMs u dzieci urodzonych przedwcześnie oraz WMs tracą swój złożony i zmienny charakter. Zaobserwować wówczas można nieprawidłowe wzorce o typie: uboższego repertuaru (*poor repertoire*, PR), kurczowo-zsynchronizowanym (*cramped-synchronised*, CS) lub chaotycznym (*chaotic*, Ch). W przypadku FMs niepokojące są nieprawidłowe ruchy drobnookrężne (*abnormal fidgety*, AF) lub ich brak (*absent of fidgety*, F–) (Aizawa *et al.*, 2021; Einspieler i Prechtl, 2005) (tab. 1).

Poza oceną jakości GMs możliwa jest szczegółowa analiza motoryki nazywana oceną optymalności ruchów globalnych (*general movement optimality score*, GMOS), zgodna z koncepcją optymalności Prechtl (Barbosa *et al.*, 2020; Einspieler i Prechtl, 2005). W okresie WMs analizie podlegają wyniki GMsA (maks. 2 punkty) i oceny optymalności poszczególnych części ciała (*optimality subscore*, OS): szyi (maks. 2 punkty), tułowia (maks. 2 punkty) i kończyn (maks. 18 punktów dla kończyn górnych i maks. 18 punktów dla kończyn dolnych). Ocena ruchów kończyn składa się z analizy następujących komponentów ruchu: amplitudy, zakresu ruchu, rotacji w częściach proksymalnych i dystalnych, początku i zakończenia ruchu, drżenia (*tremulous movements*), ruchów kurczowych (*cramped component*) (Ustad *et al.*, 2017). Każda z wymienionych składowych jest oceniana w przedziale punktowym od 0 do 2 (2 oznacza ruch optymalny). Maksymalny wynik GMOS wynosi 42 punkty i wskazuje na najbardziej optymalną ogólną sprawność motoryczną. Przedziały wyników GMOS różnią się między prawidłowymi WMs (mediana: 39, 25.–75. centyl: 37–41), wzorcem PR (mediana: 25, 25.–75. centyl: 22–29) i wzorcem CS (mediana: 12, 25.–75. centyl: 10–14) (Einspieler *et al.*, 2016a; Zorzenon *et al.*, 2019). W okresie FMs ocenę można uzupełnić o wynik optymalności motorycznej (*motor optimality score*, MOS). Analiza

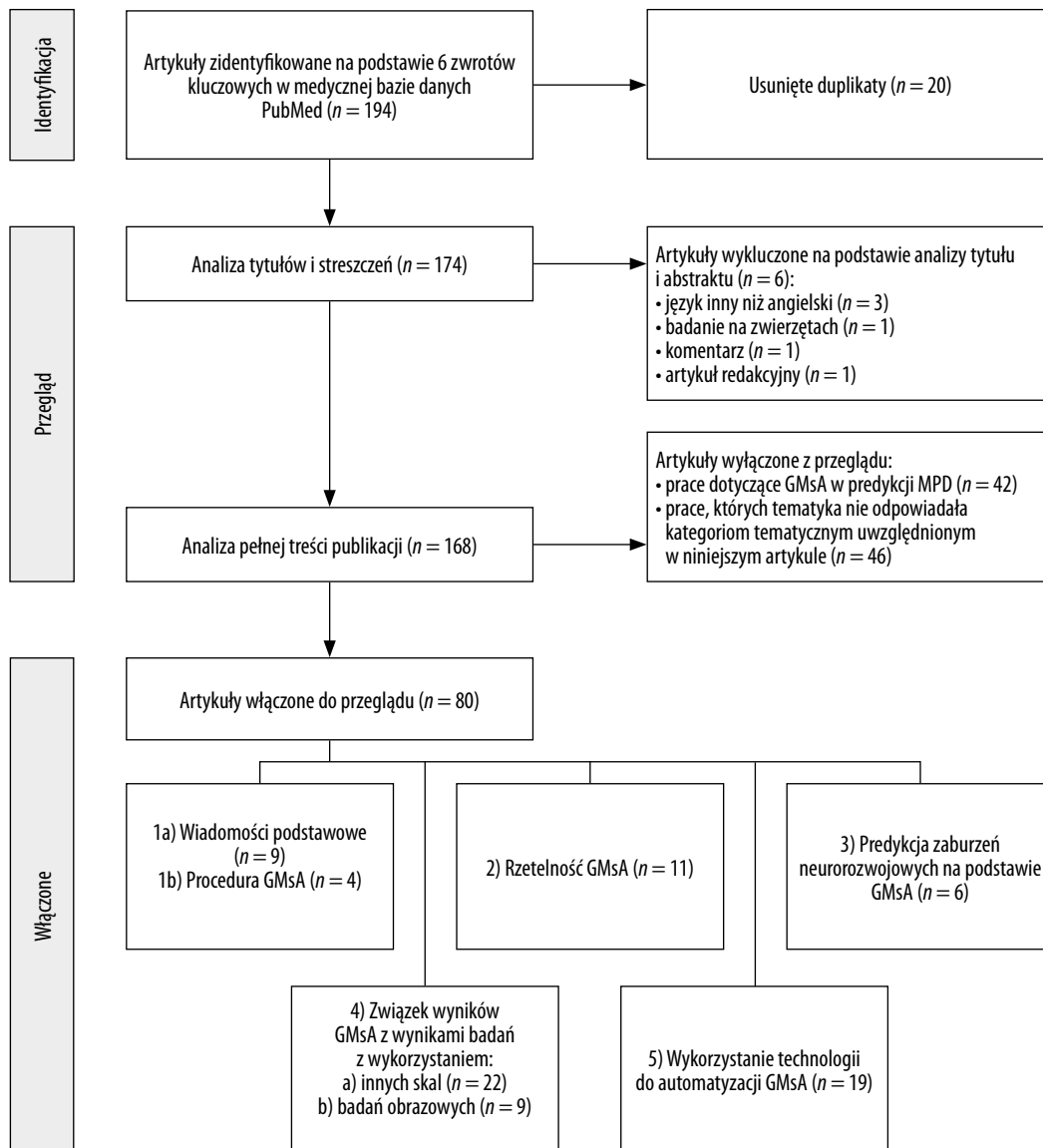
Okres występowania	Oryginalna nazwa angielska	Opis
Okres ruchów <i>writhing</i>	<i>Poor repertoire</i> (PR)	Sekwencje ruchu sprawiają wrażenie monotonicznych. Brakuje złożoności i różnorodności ruchu
	<i>Cramped-synchronised</i> (CS)	Ruch sprawia wrażenie sztywnego, pojawia się jednoczasowy skurcz i rozluźnienie mięśni w obrębie kończyn i tułowia. Brakuje płynności oraz różnorodności ruchu
	<i>Chaotic</i> (Ch)	Ruch dotyczy wszystkich kończyn, pojawia się nagle, charakteryzuje się dużą amplitudą, brakiem płynności i uporządkowania, sprawia wrażenie szarpanego, nagle przerywanego
Okres ruchów <i>fidgety</i>	<i>Absent of fidgety movements</i> (F–)	Nie obserwuje się ruchów <i>fidgety</i> między 9. a 20. tygodniem po terminie porodu. Nie wyklucza to występowania innych wzorców ruchowych
	<i>Abnormal fidgety movements</i> (AF)	Ruchy są podobne do prawidłowych ruchów <i>fidgety</i> , ale mają zbyt dużą amplitudę i prędkość oraz szarpany charakter

Tab. 1. Rodzaje nieprawidłowych GMs (na podstawie: Einspieler i Prechtl, 2005; Einspieler *et al.*, 2016a; Prechtl, 2001)

w pięciu kategoriach obejmuje ocenę: jakości FMs (maks. 12 punktów), współwystępującego repertuaru motorycznego (maks. 4 punkty), innych ruchów (maks. 4 punkty), postawy (maks. 4 punkty), charakterystyki ruchu (maks. 4 punkty) (Sharp *et al.*, 2018). Maksymalna możliwa liczba punktów to 28 (najlepsza wydajność), a minimalna – 5 punktów. Wynik MOS od 25 do 28 punktów jest uważany za optymalny, od 20 do 24 – za umiarkowanie obniżony, od 9 do 19 – za umiarkowany, a od 5 do 8 – za obniżony (Örtqvist *et al.*, 2021). Celem niniejszego przeglądu zakresu literatury jest zaprezentowanie metody oceny globalnych wzorców ruchowych według Prechtl’a (*Prechtl’s GMsA*), pokazanie jej zastosowania, rzetelności, zgodności z innymi skalami motorycznymi i neurologicznymi i/lub badaniami obrazowymi, a także przedstawienie najnowszych doniesień na temat automatyzacji GMsA.

MATERIAŁ I METODY

Przeglądu piśmiennictwa dokonano zgodnie z właściwym rozszerzeniem dla przeglądu zakresu literatury (*scoping review*) (Tricco *et al.*, 2018) rekomendacji Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement uaktualnionych w 2020 roku (Page *et al.*, 2021). Przeszukano medyczną bazę danych PubMed (stan na 30 lipca 2021 r.), wpisując następujące zwroty kluczowe: *general movements assessment* (77 wyników), *general movement assessment* (75 wyników), *Prechtl general movements assessment* (7 wyników), *Prechtl’s general movements assessment* (4 wyniki), *Prechtl’s assessment of general movement* (1 wynik), *Prechtl method* (29 wyników). Zidentyfikowano łącznie 194 publikacje dotyczące GMsA, w tym 20 badań powtórzonych. Kryteria wyłączenia na pierwszym



Ryc. 1. Proces selekcji badań

etapie weryfikacji (analiza tytułu i/lub streszczenia) były następujące: język publikacji inny niż angielski (3 badania), badanie przeprowadzone na modelu zwierzęcym (1), komentarz (1) lub artykuł redakcyjny (1). Następnie dokonano analizy pełnych tekstów 168 pozostałych publikacji. Na tym etapie wyłączono 42 badania, w których GMsA wykorzystywano w prognozowaniu wystąpienia mózgowego porażenia dziecięcego (MPD) (osobna publikacja, stanowiąca drugą część cyklu prac – Ostrzyżek-Przeździecka *et al.*, 2021), oraz 46 badań, których tematyka odbiegała od zaproponowanych kategorii tematycznych (patrz *Wyniki*).

WYNIKI

Dla 80 publikacji włączonych do szczegółowej analizy przyjęto następujące kategorie, do których kwalifikowano badania: 1a) wiadomości podstawowe ($n = 9$); 1b) procedura GMsA ($n = 4$); 2) rzetelność badania ($n = 11$); 3) predykcja zaburzeń neurorozwojowych na podstawie GMsA ($n = 6$); 4) związek wyników GMsA z wynikami badań wykonywanych z wykorzystaniem a) innych skal ($n = 22$) i/lub b) badań obrazowych ($n = 9$); 5) wykorzystanie technologii do automatyzacji GMsA ($n = 19$).

Każda z procedur związanych z przeglądem literatury, czyli kwalifikacja badań do przeglądu, strategia wyszukiwania, proces selekcji i syntezy uzyskanych danych, została przeprowadzona wspólnie przez wszystkich autorów. Ryc. 1 obrazuje procedurę wyszukiwania, selekcji i kwalifikacji badań do przedstawionego przeglądu.

OMÓWIENIE

Celem pracy było podsumowanie aktualnego stanu wiedzy na temat GMsA. Omówiono najważniejsze kwestie związane z procedurą badania według Prechtl, rzetelnością, wiarygodnością i zgodnością narzędzia oraz jego wykorzystaniem w predykcji zaburzeń neurorozwojowych. Ponadto przeanalizowano zastosowanie GMsA w połączeniu z metodami neuroobrazowymi i skalami służącymi do oceny rozwoju neuromotorycznego oraz podsumowano wiedzę dotyczącą użycia nowych technologii w celu automatyzacji GMsA.

Procedura badania

GMsA przeprowadza się na podstawie analizy nagrania wideo. W przypadku dzieci urodzonych przedwcześnie nagranie powinno trwać od 30 do 60 minut, w przypadku dzieci urodzonych o czasie i starszych – od 5 do 10 minut. Ocenie podlegają trzy sekwencje GMs, trwające około 30–40 sekund. Wraz z rozwojem metody stworzono wytyczne odnośnie do optymalizacji nagrania. Nagrywany pacjent leży na plecach, w ubraniu niekrępującym ruchów, najlepiej z odkrytymi kończynami górnymi i dolnymi. W trakcie nagrania dziecko nie może płakać, być rozdrażnione ani mieć smoczka w ustach. Nie powinno skupiać

swojej uwagi na bodźcach zewnętrznych, a zatem nie może być rozpraszan bodźcami dźwiękowymi i wzrokowymi (Einspieler i Prechtl, 2005; Einspieler *et al.*, 1997). Kamerę należy ustawić bezpośrednio nad dzieckiem w linii środkowej lub z góry i z boku (*mid-sagittally or laterally from above*) (Prechtl, 1997). Gdy dziecko jest nagrywane w okresie WMs, nie ma znaczenia stan czuwania (dziecko może w trakcie nagrania spać lub nie). Natomiast w okresie FMs konieczne jest, aby ocena opierała się na obserwacji ruchów podczas aktywności dziecka (we śnie FMs nie występują) (Einspieler *et al.*, 2004).

Ocena jakości GMs opiera się na globalnej wzrokowej percepcji Gestalt, zakładającej, że liczy się całościowy obraz motoryki dziecka, a nie szczegóły (Jäkel *et al.*, 2016). W celu uniknięcia nieprawidłowości w ocenie nagranie powinno być odtwarzane bez sygnału dźwiękowego. Doświadczony osobie analizującej nagranie ocena zajmuje nie więcej niż 1–3 minuty (Einspieler i Prechtl, 2005). Aby właściwie monitorować i oceniać indywidualne trajektorie rozwoju dziecka urodzonego przedwcześnie – znajdującego się w grupie ryzyka wystąpienia zaburzeń neurorozwojowych – najlepiej wykonać od dwóch do trzech zapisów przed określonym terminem porodu, jedno nagranie w terminie porodu lub możliwie wcześniej po terminie oraz przynajmniej jedno między 9. a 15. tygodniem po terminie, w którym powinien być nastąpić poród. Ważne, aby dokonać analizy wszystkich nagrań w celu lepszej predykcji rozwoju (Einspieler i Prechtl, 2005). Zmiana w organizacji czasowej FMs jest częsta u dzieci z grupy ryzyka. Zmianę od nieprawidłowej do prawidłowej jakości FMs powszechnie obserwuje się zwłaszcza u dzieci urodzonych skrajnie przedwcześnie (<28. tygodnia ciąży). Stąd w praktyce klinicznej istnieje konieczność dokonania więcej niż jednej oceny niemowlęcia z nieprawidłową jakością FMs (Sæther *et al.*, 2016).

W 2021 roku Aizawa i wsp. opublikowali praktyczny przewodnik poświęcony ocenie prawidłowych i nieprawidłowych cech GMs w okresie przed ustalonym terminem porodu, w terminie porodu i tuż po narodzinach dziecka. Zastosowanie przewodnika uzupełnia ocenę jakościową GMs, systematyzuje procedurę i pomaga oceniającym w podjęciu decyzji o uznaniu wzorca za prawidłowy lub określeniu rodzaju wzorca nieprawidłowego. Przewodnik ma ułatwiać ocenę niedoświadczonym obserwatorom (Aizawa *et al.*, 2021).

Rzetelność, wiarygodność, zgodność

Dla uzyskiwania w praktyce klinicznej i w badaniach naukowych wiarygodnych, powtarzalnych wyników ważne jest, aby wykorzystywać rzetelne, zatwierdzone narzędzia i metody diagnostyczne (Lachin, 2004; Matheson, 2019). Wyniki badań z użyciem rzetelnych narzędzi (metod), zebrane przez dwóch (lub więcej) niezależnych badaczy i/lub dwukrotnie (lub więcej) przez jednego badacza w takich samych warunkach (bez interwencji między badaniami) powinny charakteryzować się niską zmiennością.

W publikacji z 2005 roku Einspieler i Prechtel podsumowali dotychczasową wiedzę na temat GMsA jako narzędzia do oceny funkcjonalnej rozwijającego się OUN. W podrozdziale poświęconym analizie rzetelności metody autorzy podali, że wyniki badań z lat 1990–2003 sugerują zgodność rezultatów GMsA między doświadczonymi badającymi na poziomie 89–93%; uśredniony współczynnik kappą z analizowanych badań wyniósł 0,88. Z kolei dla dwukrotnej analizy nagrań wideo GMs dokonywanej przez jednego badacza z dwuletnim odstępem uzyskano rzetelność wyników na poziomie 100% dla oceny całościowej i 85% dla oceny szczegółowej (Einspieler i Prechtel, 2005).

W badaniach prowadzonych po 2005 roku uzyskano wysoką wewnątrzsobniczą spójność (współczynnik kappą), wynoszącą 0,90 dla GMs w okresie przed terminem porodu, 0,96 dla WMs i 0,92 dla FMs w badaniu wykonywanym przez jednego badającego (Mutlu *et al.*, 2008), oraz zróżnicowany poziom rzetelności między badaczami dla wyników poszczególnych składowych GMsA (Fjørtoft *et al.*, 2009). Satysfakcjonującą rzetelność odnotowano dla części określanej jako ocena repertuaru motorycznego w wieku od 3. do 5. miesiąca życia (*assessment of motor repertoire – 3 to 5 months*). Wykorzystując nagrania motoryki wykonane w 3.–5. miesiącu życia wieku skorygowanego u 24 niemowląt urodzonych między 24. a 42. tygodniem ciąży, autorzy stwierdzili wysoki poziom rzetelności wyników uzyskanych przez czterech badających dla oceny FMs i charakterystyki ruchu (*movement character*), umiarkowany dla jakości innych ruchów (*quality of other movements*) i repertuaru ruchów współtowarzyszących (*repertoire of co-existent other movements*) oraz niski dla postawy (*posture*). Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej dla wyniku MOS wyniósł 0,87 (Fjørtoft *et al.*, 2009). Potwierdzeniem braku jednoznacznie wysokiego poziomu rzetelności rezultatów GMsA między badającymi były wyniki opublikowane przez Bernhardt i wsp. w 2011 roku. Pięciu fizjoterapeutów analizowało 20 nagrań wideo z okresu WMs (31.–41. tydzień PMA – *post-menstrual age*) i 10 nagrań z okresu FMs (49.–54. tydzień PMA). Brak satysfakcjonujących wyników skłonił autorów do konkluzji, zgodnie z którą najlepiej jest, gdy oceny motoryki spontanicznej dziecka na podstawie nagrań wideo dokonuje co najmniej dwóch doświadczonych fizjoterapeutów (Bernhardt *et al.*, 2011).

W 2016 roku Zang i wsp. podali poziom współczynnika korelacji wewnątrzklasowej dla wyniku MOS uzyskanego przez trzech wyszkolonych badaczy w grupie noworodków z bardzo niską masą urodzeniową (700–1495 g) wynoszący >0,9. W innym badaniu trzech doświadczonych, wyszkolonych w GMsA klinicystów oceniało, w grupie 190 noworodków urodzonych o czasie, GMs po zabiegu operacyjnym i w 3. miesiącu życia badanych (Crowle *et al.*, 2017). Autorzy stwierdzili wysoki poziom zgodności rezultatów GMsA między klinicystami: umiarkowany dla okresu WMs – 66–77% i doskonały dla okresu FMs – 86–89%. W konsekwencji uznali GMsA za rzetelne narzędzie w grupie noworodków poddanych zabiegom operacyjnym na wczesnym

etapie życia (Crowle *et al.*, 2017). Różnice w poziomie rzetelności wyników GMsA między badającymi w zależności od okresu obserwacji (większa rzetelność w okresie FMs) odnotowali także Pouppirt i wsp. (2021). Satysfakcjonującą rzetelność wyników GMsA na podstawie 59 nagrań wideo 37 noworodków (PMA w czasie nagrywania pierwszego wideo: 35.–60. tydzień) uzyskano dla jednego certyfikowanego badającego, który przeprowadzał ocenę GMs dwukrotnie z odstępem 7 dni (Yeh *et al.*, 2016).

Udział w standaryzowanych kursach szkoleniowych z zakresu GMsA może pomóc w zwiększeniu rzetelności wyników GMsA uzyskiwanych przez różnych badających (Valentin *et al.*, 2005). Niektórzy autorzy podkreślają konieczność formalnego szkolenia, aby móc skutecznie i rzetelnie oceniać GMs w grupie pacjentów z hipoksją okołoporodową (Brown *et al.*, 2016). Udział w szkoleniu może jednak nie wystarczyć do optymalnej oceny GMs, przynajmniej w grupie noworodków z wysokim ryzykiem MPD. W 2021 roku Peyton i wsp. wykazali różnice w rzetelności GMsA w tej grupie pacjentów w zależności od doświadczenia klinicznego osoby badającej.

GMsA jest domeną klinicystów i badaczy analizujących nagrania wideo z motoryką spontaniczną powstające w warunkach klinicznych, w których istnieje możliwość dodatkowej, bezpośredniej oceny dziecka. Niemniej regularna ocena rozwoju motorycznego z wykorzystaniem GMsA nie musi bazować na nagraniach wykonanych w warunkach klinicznych. Istotne jest, aby rejestracja GMs była poprawna – wówczas nagranie przesłane przez rodzica do lekarza/fizjoterapeuty pozwala na regularną i częstą kontrolę GMs. W 2020 roku przedstawiono wyniki sugerujące zadowalającą zgodność rezultatów GMsA prowadzonej na podstawie nagrań wykonanych przez doświadczonego fizjoterapeutę w warunkach klinicznych oraz rodzica, który uprzednio otrzymał ulotkę z instrukcją prowadzenia badania w warunkach domowych (Yeh *et al.*, 2020). Jest to bardzo istotne w kontekście ograniczonego dostępu do specjalistów w dobie pandemii COVID-19 (Saini *et al.*, 2021).

Predykcja zaburzeń neurorozwojowych z wykorzystaniem GMsA

Przewidywanie rozwoju neurologicznego i neuromotorycznego dziecka bazuje m.in. na jak najwcześniejszej, regularnej i częstej obserwacji GMs (Einspieler i Prechtel, 2005). Ubogi repertuar ruchów w pierwszym nagraniu w okresie WMs może przekształcić się w prawidłowe, nieprawidłowe lub brak FMs. Wzorec PR jest mało wartościowy w przewidywaniu uszkodzenia OUN i w kolejnych tygodniach życia może zostać zastąpiony – z porównywalnym prawdopodobieństwem – zarówno prawidłowymi, jak i nieprawidłowymi FMs. Wzorec CS w okresie WMs implikuje brak lub nieprawidłowe FMs i jest wysoce predykcyjny, jeśli chodzi o wystąpienie MPD. Po wzorcu Ch, obserwowanym bardzo rzadko, najczęściej pojawia się wzorec CS. Brak FMs w okresie od 9. do 20. tygodnia po terminie urodzenia

z dużym prawdopodobieństwem świadczy o uszkodzeniu OUN, co zapowiada nieprawidłowy rozwój neurologiczny w przyszłości (Einspieler i Prechtl, 2005; Prechtl *et al.*, 1997). Zaletą oceny jakości GMs jest możliwość uzyskania – poprzez powtarzane obserwacje – indywidualnych trajektorii rozwoju motorycznego. Pozwala to zdobyć dodatkowe dane dotyczące wczesnej historii rozwoju neuromotorycznego. W badaniu z 1993 roku zaobserwowano, że wszystkie dzieci ze spastyczną diplegią lub tetraplegią miały prawie identyczne trajektorie z wczesnym pojawieniem się wzorca CS i brakiem elementów rotacji w kończynach. Co więcej, w żadnym przypadku nie stwierdzono zmiany z wzorca WMs w FMs, co w rozwoju typowym zwykle ma miejsce w 2. miesiącu życia (Prechtl *et al.*, 1993).

Do dynamicznych zmian w jakości GMs dochodzi często w pierwszych dobach po porodzie (Ploegstra *et al.*, 2014). W badaniu oceniającym jakość GMs w 1. tygodniu życia u zdrowych niemowląt urodzonych o czasie nieprawidłowe GMs były obserwowane u 86% badanych w dniu urodzenia, u 94% w 1. dobie życia i u 68% w 2. dobie życia. W dniach od 5. do 7. u wszystkich niemowląt GMs były prawidłowe (Ploegstra *et al.*, 2014). W badaniu de Vries i Bosa, w którym oceniano GMs u dzieci urodzonych przedwcześnie (średni wiek ciążowy: 28,6 tygodnia, zakres: 25,0–32,0) w 2., 4., 6. i 10. dobie życia, nieprawidłowe GMs obserwowane podczas pierwszych ocen często poprawiały się w kolejnych. Poprawę jakości GMs w 1. tygodniu stwierdzano u dzieci, które miały większą masę urodzeniową i starszy wiek urodzeniowy oraz były mniej narażone na czynniki powodujące pogorszenie funkcji mózgu (de Vries i Bos, 2010).

Nieprawidłowe ruchy są związane nie tylko z upośledzeniem motorycznym, ale także z nieprawidłowościami w innych obszarach rozwoju. Nieprawidłowe GMs po 40. tygodniu PMA, ruchy monotonne i gwałtowne oraz nieprawidłowości postawy w wieku 3–5 miesięcy mogą wskazywać na wysokie ryzyko dysfunkcji poznawczych. Monotonny repertuar ruchu w pierwszych miesiącach rozwoju może mieć niekorzystny wpływ na rozwój interakcji z otoczeniem (Einspieler *et al.*, 2016b).

Autorzy przeglądów piśmiennictwa z metaanalizą opublikowanych w 2011 (Darsaklis *et al.*, 2011), 2016 (Xie *et al.*, 2016) i 2020 roku (Pires *et al.*, 2020) sugerowali, że obecność nieprawidłowych FMs w 12. tygodniu wieku skorygowanego jest w większym stopniu predykcyjna dla wystąpienia zaburzeń neurorozwojowych niż nieprawidłowe WMs (Darsaklis *et al.*, 2011) oraz że ocena w okresie ruchów drobnookrężnych cechuje się większą wrażliwością w predykcji zarówno MPD, jak i innych zaburzeń neurorozwojowych niż ocena w okresie *writhing* (Xie *et al.*, 2016). Autorzy wspomnianych prac przeglądowych podkreślili jednak szereg ograniczeń i metodologicznych rozbieżności w dotychczasowych badaniach oraz konieczność prowadzenia badań włączających GMsA we właściwym czasie i ocenę funkcjonalną stanu klinicznego pacjenta w późniejszych okresach życia (Pires *et al.*, 2020).

Porównanie/wykorzystanie GMsA w połączeniu z innymi skalami służącymi do oceny motoryki lub badaniami neurologicznymi

Choć stosowanie większości narzędzi diagnostycznych ma wspólny cel, którym jest identyfikacja dzieci zagrożonych długoterminowymi zaburzeniami neurorozwojowymi, i wiele wspólnych elementów, ugruntowanych w pionierskich pracach z zakresu neurologii dziecięcej, poszczególne narzędzia dostarczają klinicystom i badaczom różnych informacji (Spittle *et al.*, 2016b).

Jakość GMs to marker późniejszego rozwoju neurologicznego ocenianego za pomocą wystandaryzowanych procedur badania neurologicznego. GMsA najczęściej łączona jest z badaniem neurologicznym według protokołów Dubowitz i Prechtl, z badaniem według Amiel-Tison i Greniera oraz Touwena (Bos *et al.*, 1997; Einspieler *et al.*, 2007; Ferrari *et al.*, 1997; Sustersic i Paro-Panjan, 2008; de Vries *et al.*, 2008). Równoczesne stosowanie więcej niż jednego narzędzia podnosi wartość predykcyjną badania i pozwala na ocenę różnych aspektów rozwoju dziecka. Moc predykcyjną globalnej oceny zwiększa się, wykorzystując również skale do oceny motorycznej i badania neuroobrazowe. Różnorodność dostępnych skal oceny rozwoju psychomotorycznego umożliwia monitorowanie zmian w każdym wieku, począwszy od rozwoju odruchowego u noworodków i niemowląt, a na ocenie umiejętności szkolnych i społecznych dzieci starszych skończywszy. Chociaż standaryzowane oceny motoryczne i neurologiczne w okresie noworodkowym, niemowlęcym i poniemowlęcym w kohorcie dzieci zdrowych (nieobciążonych czynnikami ryzyka opóźnionego rozwoju) miały ograniczoną wartość predykcyjną odnośnie do rozwoju motorycznego w wieku szkolnym (Roze *et al.*, 2010), to u pacjentów z obciążonym wywiadem okołoporodowym lub współistniejącymi deficytami neurologicznymi regularna ocena neuromotoryczna powinna stanowić nieodłączny element monitorowania rozwoju.

Istnieje wiele narzędzi oceniających stan neurologiczny i motoryczny dziecka już od pierwszych tygodni życia, a GMsA wydaje się mieć szczególną wartość diagnostyczną. Sugestie Prechtl, że GMs odzwierciedlają wyjątkowy konstrukt neurologiczny, inny niż tradycyjne testy motoryczne, potwierdza analiza korelacji wykorzystana do określenia siły powiązań między wynikami GMsA, TIMP (Test of Infant Motor Performance), ENNAS (Einstein Neonatal Neurobehavioral Assessment Scale) i AIMS (Alberta Infant Motor Scale) w 34., 38.–40. tygodniu PMA i 12. tygodniu wieku skorygowanego u pacjentów urodzonych przed 32. tygodniem ciąży, z masą urodzeniową <1500 g. Badanie wykazało związek o niskiej sile między GMsA a tradycyjnymi testami motorycznymi (Snider *et al.*, 2008), co wskazuje, że nie należy stosować ww. narzędzi wymienne. Potwierdza to badanie Romea i wsp. (2008), w którym wykazano, że równoczesne użycie dwóch metod – GMsA i HINE (Hammersmith Infant Neurological Examination) –

jest skuteczniejsze niż pojedyncze oceny w przewidywaniu wyniku neurologicznego w wieku 24 miesięcy. Ponadto Harpster i wsp. (2021) wykazali niski stopień korelacji między GMsA i HINE, co sugeruje, że testy nie dostarczają podobnych informacji prognostycznych i nie powinny być stosowane zamiennie. Odmianą rolę poszczególnych narzędzi do oceny neurorozwojowej podkreślili również autorzy badania wskazującego różne wartości referencyjne dla trzech testów. Zwrócili oni uwagę, że o ile GMsA i HNNE (Hammersmith Neonatal Neurological Examination) dają ogólną klasyfikację neurorozwojową (wyniki w normie lub poza normą), o tyle inne badania, takie jak NNNS (Neonatal Intensive Care Unit Network Neurobehavioral Scale), mogą pomóc w ustaleniu, na czym powinny się skupiać monitorowanie lub interwencja (Spittle *et al.*, 2016b). Z kolei w badaniu Rizziego i wsp. (2021) wykazano wysoką równoczesną korelację między GMsA w 3. miesiącu życia a oceną IMP (Infant Motor Profile). Grupę badaną stanowiło 86 niemowląt urodzonych przedwcześnie i będących w grupie ryzyka wystąpienia zaburzeń neurorozwojowych. Rozkład wyników IMP znacząco różnił się wśród niemowląt z prawidłowymi FMs i niemowląt z AF, co sugeruje silny związek między GMsA a IMP (Rizzi *et al.*, 2021). Podobną zależność stwierdzono w badaniu przeprowadzonym w grupie 53 niemowląt urodzonych przedwcześnie ze skrajnie niską masą urodzeniową. W wieku 10–15 tygodni niemowlęta z nieprawidłowymi GMs były znacznie bardziej narażone na niższe wyniki w TIMP przeprowadzonym w tym samym czasie co GMsA (Peyton *et al.*, 2016).

Powyższe badania wskazują na wykorzystanie GMsA do oceny aktualnego stanu pacjenta, ale opisywane narzędzie może pomóc także w przewidywaniu rozwoju w późniejszym okresie życia, ocenianego za pomocą innych dostępnych skal motorycznych, poznawczych i związanych z rozwojem mowy.

Dzieci urodzone przedwcześnie (<37. tygodnia ciąży) z niską masą urodzeniową (<2500 g), u których nie wystąpiły prawidłowe FMs, osiągały niższe wyniki we wszystkich ocenianych parametrach skali Bayley-III (Bayley Scales of Infant and Toddler Development – Third Edition) i GMFM (Gross Motor Function Measure) (Kepenek-Varol *et al.*, 2016), prezentowały zaburzoną motorykę dużą i małą w wieku 12 miesięcy w ocenie za pomocą skali PDMS-2 (Peabody Developmental Motor Scales – Second Edition) oraz zaburzenia rozwoju chodu ocenione przy użyciu skali AIMS (Snider *et al.*, 2009; Zang *et al.*, 2016). Podobne obserwacje poczyniono w badaniach Adde'a i wsp. oraz Burger i wsp., również dotyczących dzieci przedwcześnie urodzonych i ze skrajnie niską masą urodzeniową: nieprawidłowości w zakresie FMs i nieprawidłowy współwystępujący repertuar motoryczny (*concurrent motor repertoire*) były istotnie związane z niższymi wynikami w PDMS-2 (Adde *et al.*, 2016) i AIMS (Adde *et al.*, 2016; Burger *et al.*, 2011) w wieku 12 miesięcy. Co więcej, niemowlęta z encefalopatią niedotlenieniowo-niedokrwienną, u których występowały prawidłowe FMs, miały istotnie wyższe wyniki w podskali

poznawczej Bayley-III niż niemowlęta bez FMs. Wskaźniki motoryczne też były wyższe, choć nieistotnie, u niemowląt z obecnymi FMs (Aker *et al.*, 2022).

Ricci i wsp. (2018) wykazali satysfakcjonującą czułość i swoistość GMsA w przewidywaniu wyniku AIMS w wieku 12 miesięcy u dzieci urodzonych przedwcześnie i o czasie zakwalifikowanych do grupy ryzyka zaburzeń neurorozwojowych, w tym MPD. Z kolei w grupie 137 noworodków urodzonych przed 30. tygodniem ciąży nieprawidłowy wynik GMsA w 32., 34., 36. tygodniu PMA i wieku równoważnym wiązał się z gorszymi wynikami nie tylko w skali AIMS, ale także w NSMDA (Neurological, Sensory, Motor, Developmental Assessment) i TINE (Touwen Infant Neurological Examination) w 12. miesiącu życia dziecka (Olsen *et al.*, 2018).

Nieprawidłowe GMs po 1. miesiącu życia wiązały się z gorszymi wynikami motorycznymi w wieku 2 i 4 lat w ocenie przy użyciu Bayley-III oraz MABC-2 (Movement Assessment Battery for Children – Second Edition), ale nie dotyczyło to rozwoju mowy ani rozwoju poznawczego. Nieprawidłowe GMs po 3. miesiącu życia dziecka były związane z gorszymi wynikami motorycznymi, poznawczymi i językowymi zarówno w wieku 2, jak i 4 lat; wyniki poznawcze i językowe w wieku 4 lat oceniano za pomocą DAS (Differential Ability Scale) (Spittle *et al.*, 2013).

W 2020 roku porównano wyniki badania GMsA wykonanego w okresie FMs z wynikiem w skali Bayley-III uzyskanym w wieku 1,5–2 lat w grupie 126 niemowląt urodzonych przedwcześnie z towarzyszącymi zaburzeniami, takimi jak żółtaczka, zaburzenia oddychania, zapalenie płuc, sepsa, wylewy dokomorowe i dysplazja oskrzelowo-płucna (Kahraman *et al.*, 2020). Stwierdzono, że wyniki Bayley-III są w umiarkowanym stopniu zgodne z wynikiem GMsA w wieku 3–5 miesięcy. Rezultat GMsA skuteczniej niż Bayley-III pomagał w przewidywaniu wyników neurorozwojowych w wieku 1,5–2 lat, co potwierdza istotność GMsA w przewidywaniu rozwoju neuromotorycznego dzieci z grup ryzyka (Kahraman *et al.*, 2020). Podobne wyniki uzyskano w badaniu, które dotyczyło roli GMsA w przewidywaniu rozwoju neuromotorycznego w wieku 2 lat w grupie dzieci z bardzo niską masą urodzeniową. Nieobecność FMs w wieku 3 miesięcy wykazała wysoką swoistość (*specificity*) i negatywną wartość predykcyjną (*negative predictive value*) dla umiarkowanych i poważnych zaburzeń neurorozwojowych w zakresie funkcji motorycznych, poznawczych i językowych ocenianych za pomocą Bayley-III (Barnes *et al.*, 2021).

Istnieje niewiele doniesień na temat wartości predykcyjnej GMsA, jeśli chodzi o wyniki rozwojowe w wieku przedszkolnym i szkolnym. W badaniu z 2020 roku sprawdzano, czy wczesny repertuar ruchowy koreluje z wynikami neurorozwojowymi w wieku 4,5–5 lat. Nieprawidłowy wynik GMsA przed 32. tygodniem i między 32. a 33. tygodniem wieku ciążowego wiązał się z niższymi wynikami w małym DCD-Q (Little Developmental Coordination Disorder Questionnaire). Nieprawidłowe GMs w 34.–36. tygodniu

wieku ciąży i w terminie równoważnym skutkowało niższym wskaźnikiem oceny jakości życia i domeny mobilności PEDI-CAT (Pediatric Evaluation of Disability Inventory-Computer Adaptive Test). Nieprawidłowe GMs w terminie równoważnym były związane z niższym wynikiem MABC-2, niższym wskaźnikiem oceny jakości życia i domeny mobilności PEDI-CAT oraz gorszymi wynikami w domenach społecznych/poznawczych zarówno u wcześniaków, jak i u dzieci z grupy kontrolnej urodzonych w terminie (Olsen *et al.*, 2020). W grupie dzieci ze skrajnie niską masą urodzeniową (średnia: 773 g) nieprawidłowy repertuar motoryczny w okresie ruchów drobnookrężnych związany był z gorszą równowagą i ogólnymi zdolnościami motorycznymi ocenianymi za pomocą MABC-2 w wieku 10 lat, a rodzice zgłaszali większą nadpobudliwość, dekoncentrację i problemy z zachowaniem u swoich dzieci (Grunewaldt *et al.*, 2014).

Czułość (*sensitivity*) GMsA w zakresie identyfikacji dzieci z definitywnymi lub granicznymi zaburzeniami motoryki (ocenianymi na poziomie poniżej 5. percentyla lub od 5. do 15. percentyla) w skali MABC w wieku 5–6 lat była wyższa w okresie FMs niż w okresie WMs, a swoistość (*specificity*) okazała się niska w obu okresach GMs (Sustersic *et al.*, 2012). Dane z przeglądu systematycznego De Roubaix i wsp. (2021) wskazują na brak dowodów potwierdzających wartość predykcyjną GMsA w odniesieniu do opóźnień motorycznych w ustandaryzowanej ocenie w wieku szkolnym. Jakość WMs nie była powiązana z całkowitym wynikiem MABC-1 lub z którymkolwiek z podtestów MABC-1 w 6. roku życia. Z kolei jakość FMs nie wykazywała związku z MABC-1, MABC-2, NEPSY-II (kompleksowa, unormowana i wielodomenowa bateria testów neuropsychologicznych przeznaczonych do oceny zdolności neuropoznawczych u dzieci i młodzieży), DCD-Q (De Roubaix *et al.*, 2021).

Obecność FMs, ale z nieprawidłowym współwystępującym repertuarem motorycznym w 14. tygodniu wieku skorygowanego u dzieci urodzonych przedwcześnie (przed 30. tygodniem ciąży) i z bardzo niską masą urodzeniową (średnio 884 g) była istotnie związana z niższym wynikiem Adaptive Behavior Composite i wyższym wskaźnikiem zachowań nieadaptacyjnych (Maladaptive Behavior Index), wchodzących w skład skali oceny zachowań adaptacyjnych Vineland II (Vineland Adaptive Behavior Scales-II), w wieku 10–11 lat (Fjørtoft *et al.*, 2015) oraz stanowiła dobry predyktor upośledzenia równowagi ocenianej za pomocą MABC-2 w wieku 10 lat (Fjørtoft *et al.*, 2013).

Wszystkie przedstawione wyżej skale i narzędzia mogą być pomocne w ocenie rozwoju neuromotorycznego dzieci w różnym wieku, a GMsA może dużo wcześniej przewidzieć wyniki tej oceny, co pozwoli na szybszą interwencję. Należy jednak z dużą ostrożnością wybierać oraz interpretować wyniki uzyskane za pomocą poszczególnych narzędzi. Trzeba pamiętać, że żaden z testów nie ma stuprocentowej skuteczności w przewidywaniu rozwoju, co sugeruje konieczność łączenia dostępnych narzędzi, nie zaś możliwość stosowania ich wymiennie.

Porównanie/wykorzystanie GMsA w połączeniu z badaniami neuroobrazowymi

Już w 1993 roku Prechtl i wsp. stwierdzili na podstawie badań przeprowadzonych w grupie dzieci z niedotlenieniem okołoporodowym, że wartość predykcyjna obserwacji GMs jest podobna do wartości elektroencefalografii (EEG) i neuroobrazowania, które są bardziej inwazyjne, czasochłonne i kosztowne. Wymienione techniki oraz inne oceny instrumentalne (potencjały wywołane, mózgowy przepływ krwi) odgrywają ważną rolę diagnostyczną u noworodków urodzonych w zamartwicy, a jeśli chodzi o prognozy, mogą być istotne w pierwszych godzinach życia, gdy ocena kliniczna jest niepewna, a niemowlęta są często wentylowane i pod sedacją (Prechtl *et al.*, 1993). Efektywna wczesna diagnostyka umożliwia szybkie podjęcie terapii u dzieci obciążonych ryzykiem zaburzeń motorycznych i poznawczych. Łączenie badań neuroobrazowych z oceną kliniczną pozwala na rzetelną ocenę dziecka i skuteczniejszy dobór terapii (George *et al.*, 2021). Zarówno obrazowanie rezonansem magnetycznym (*magnetic resonance imaging*, MRI), jak i kliniczna ocena funkcji motorycznych, neurologicznych i neurobehawioralnych u dzieci urodzonych przedwcześnie są bezpieczne i stają się coraz bardziej dostępne w warunkach klinicznych (George *et al.*, 2021). Nieprawidłowości w strukturze istoty białej są związane z odchyleniami motorycznymi mierzonymi za pomocą skali TIMP i GMsA 3 miesiące po terminie porodu, co wskazuje na korzyści diagnostyczne ze stosowania MRI i badań klinicznych w celu określenia różnych zaburzeń rozwoju mózgu i korelacji między nimi a wczesnymi umiejętnościami motorycznymi (Peyton *et al.*, 2016). Nieprawidłowe GMs w 10.–15. tygodniu po terminie urodzenia wiążą się z niekorzystnymi wynikami neurorozwojowymi i specyficznymi nieprawidłowościami mikrostruktury istoty białej, skutkującymi opóźnieniami w zakresie poznawczym, językowym i motorycznym (Peyton *et al.*, 2017). Zrozumienie związku między wynikami MRI a pozostałymi ocenami neurorozwojowymi może być przydatne dla klinicystów monitorujących rozwój dzieci z grup wysokiego ryzyka rozwoju deficytów neuromotorycznych.

W 2015 roku opublikowany został protokół badania PPREMO (Prediction of Preterm Motor Outcome), opisujący założenia prospektywnego badania kohortowego oceniającego strukturę i funkcje mózgu niemowląt urodzonych przedwcześnie (do 30. tygodnia ciąży włącznie) w celu przewidywania wyników neurorozwojowych (George *et al.*, 2015). Badanie miało ocenić związek między strukturą mózgu (badaną za pomocą MRI), funkcjami mózgu (ocena rozwoju neurologicznego, neuromotorycznego, neurobehawioralnego, wzrokowego i ocena EEG), okołoporodowymi czynnikami ryzyka oraz żywieniem w 30.–32. tygodniu PMA i w 40. tygodniu PMA. Kolejnym celem było określenie wartości predykcyjnej powyższych pomiarów w stosunku do wskaźników rozwoju motorycznego i neurologicznego po 3. i 12. miesiącu wieku skorygowanego (George *et al.*, 2015).

Trzy lata później (2018) opublikowano pierwsze badania przeprowadzone na podstawie protokołu PPREMO. Zależność między wynikami wczesnego MRI i GMsA (wykonanych między 30. a 32. tygodniem PMA) zaobserwowano jedynie między wynikiem oceny mózdzku a wzorcem CS. Co interesujące, wyniki oceny mózdzku były silnie powiązane z innymi metodami oceny klinicznej, takimi jak odruchy w HNNE, hipertonia w NNNS i podskala neurologiczna w Premie-Neuro. W 38.–40. tygodniu PMA (wiek, w którym planowo miał nastąpić poród) nie wykazano zależności między parametrami MRI i GMsA. Brak zależności między zmianami w istocie białej mózgu a GMsA autorzy tłumaczą oceną dziecka w okresie WMs, a nie w okresie FMs, który ma większe znaczenie diagnostyczne (George *et al.*, 2018). W kolejnej pracy opartej na protokole PPREMO (2021) opisano wyniki 98 niemowląt urodzonych przed 31. tygodniem ciąży. Wykorzystano wczesne MRI oraz MRI w wieku urodzeniowym z równoczesną oceną kliniczną (GMsA, HNNE, NNNS, TIMP, Premie-Neuro) i oceną po 3. miesiącu wieku skorygowanego (GMsA, TIMP, ocena funkcji wzrokowych) w celu określenia powiązania wymienionych testów z wynikami motorycznymi i poznawczymi w wieku skorygowanym 2 lat. Największą dokładność predykcyjną wyników motorycznych wykazano dla połączenia MRI wykonanego w wieku przypadającym na termin porodu z GMsA w 3. miesiącu wieku skorygowanego (George *et al.*, 2021).

Kelly i wsp. (2019) analizowali związek wyników badania MRI z oceną neurologiczną i behawioralną (GMsA, NNNS, HNNE). Nie wykazano istotnego związku nieprawidłowych GMs z całkowitą objętością tkanki mózgowej. Szczegółowa analiza pozwoliła stwierdzić istotną zależność między występowaniem nieprawidłowych GMs, zmniejszoną objętością tkanki mózgowej w obszarze prawej torebki zewnętrznej, małymi skupiskami dyfuzyjności osiowej oraz zmniejszoną dyfuzyjnością w prawej torebce wewnętrznej i w obszarze wieńca promienistego (Kelly *et al.*, 2019). W badaniu oceniającym związek wyników strukturalnego MRI (sMRI) z funkcjami motorycznymi u dzieci urodzonych przedwcześnie wykazano, że uwidocznienie w sMRI warstwy strzałkowej istoty białej mózgu istotnie korelowało z wynikiem GMOS w terminie fizjologicznego porodu i MOS w 3. miesiącu wieku skorygowanego. Zależność była silniejsza dla warstwy strzałkowej w okolicy potylicznej niż dla okolicy czołowej. Średni wynik GMOS i MOS okazał się najwyższy w grupie dzieci z raczej widoczną (*fairly visible*) warstwą strzałkową, co sugeruje, że wyraźna widoczność (*clear visibility*) może się przekładać na wyższe wyniki wskaźników optymalności motorycznej zarówno w okresie WMs, jak i FMs (Katuś *et al.*, 2021).

Połączenie MRI z GMsA wykorzystano również w badaniu Aker i wsp. z 2022 roku, by ocenić i przewidzieć wyniki neurorozwojowe u 50 niemowląt urodzonych o czasie lub blisko terminu porodu z encefalopatią niedotlenieniowo-niedokrwienną. MRI wykonywano między 1. a 5. dobą życia dzieci i klasyfikowano jako normalne/łagodnie nieprawidłowe lub

umiarkowanie/poważnie nieprawidłowe. Nagranie GMs powstawało w 10.–15. tygodniu życia dziecka. MRI noworodków i GMsA okazały się silnie powiązane z wynikiem neurorozwojowym w wieku 18 miesięcy ocenianym za pomocą badania neurologicznego Bayley-III oraz z GMFCS (Gross Motor Function Classification System). Uzyskane wyniki wskazują, że GMsA w wieku 10–15 tygodni ma podobną dokładność predykcyjną jak MRI w okresie noworodkowym, jest więc użytecznym i wartościowym narzędziem predykcyjnym. W krajach o niskich i średnich dochodach, gdzie MRI nie zawsze jest dostępne, GMsA może stanowić niedrogą, a zarazem bardzo dobrą alternatywę dla MRI w ocenie dzieci z grup ryzyka (Aker *et al.*, 2022).

W pracach z początku XXI wieku przedstawiono połączenie GMsA z badaniem USG głowy. Garcia i wsp. (2004) ocenili 40 dzieci urodzonych przed 35. tygodniem ciąży, wykonując USG głowy i GMsA w okresie *preterm*, w wieku urodzeniowym (37.–42. tydzień PMA) i między 49. a 56. tygodniem PMA. Autorzy zaobserwowali silną zależność między nieprawidłowymi GMs a nieprawidłowościami w USG głowy we wszystkich okresach wiekowych, z największą zgodnością między 49. a 56. tygodniem PMA, w porównaniu z oceną w terminie porodu i okresem przed porodem. Wykazali istotną korelację obu badań w fazach WMs i FMs (Garcia *et al.*, 2004). W badaniu Ivanova i wsp. (2005) w grupie 35 niemowląt (wśród nich 7 urodzonych przedwcześnie) oceniono FMs między 6. a 20. tygodniem życia, wykonano USG przeciemniaczkowe i badanie neurologiczne. Kolejnej oceny dokonano między 12. a 18. miesiącem życia dzieci. Wysoki poziom zgodności wyników (>90%) stwierdzono dla prawidłowych FMs i braku nieprawidłowości neurologicznych i ultrasonograficznych (lub występowania nieprawidłowości łagodnych) oraz dla braku FMs i obecności ciężkich nieprawidłowości klinicznych i ultrasonograficznych (Ivanov *et al.*, 2005).

Nowe technologie i automatyzacja GMsA

Szybko rozwijającą się gałęzią GMsA jest automatyzacja badania. Należy tu wspomnieć o wykorzystaniu aplikacji mobilnych, takich jak *Baby Moves* (Kwong *et al.*, 2019; Spittle *et al.*, 2016a), *NeuroMotion* (Svensson *et al.*, 2021), *In-Motion-App* (Adde *et al.*, 2021) czy *GMApp* (Marschik *et al.*, 2017). Za pomocą telefonu lub tabletu z zainstalowaną aplikacją klinicysta, badacz, ale także rodzic może nagrać wysokiej jakości film obrazujący motorykę spontaniczną dziecka. Wymienione aplikacje wspomagają proces oceny GMs i umożliwiają bezpieczne przechowywanie danych, film przesyłany jest przez rodziców do specjalisty/specjalistów lub między specjalistami w celu weryfikacji. To pomocne rozwiązanie, które uniezależnia rodziców i/lub badaczy/klinicystów od ośrodka wykonującego badanie i nie wymaga dodatkowej wizyty w szpitalu. Aplikacja przypomina o potrzebie stworzenia nagrania, co optymalizuje czas badania dla okresów *writhing* i *fidgety*.

Niedawno wykazano rzetelność wyników GMsA uzyskanych przez dwóch oceniających z różnym doświadczeniem

na podstawie nagrań powstałych z wykorzystaniem aplikacji *NeuroMotion* (Svensson *et al.*, 2021). Należy jednak podkreślić, że użycie aplikacji, czyli przygotowanie nagrania wideo z motoryką spontaniczną dziecka i otrzymanie wyniku analizy, nie jest równoznaczne z brakiem konieczności konsultacji ze specjalistą zajmującym się całościową oceną neuromotoryczną dziecka (Adde *et al.*, 2021; Kwong *et al.*, 2019; Svensson *et al.*, 2021).

Zagadnieniem związanym z automatyzacją GMsA jest tworzenie nowoczesnych metod nagrywania (z czujnikami ruchu umieszczanymi na wybranych częściach ciała lub bez czujników), zakładających rejestrację aktywności dziecka oraz tworzenie dwu- i trójwymiarowych modeli ruchu w czasie i oprogramowania z algorytmami pozwalającymi na ocenę motoryki i/lub oszacowanie ryzyka zaburzeń neurorozwojowych. Metody te nastawione są na niezależenie GMsA od obecności oceniającego w czasie rzeczywistym. Dodatkowo część badaczy uważa, że taka ocena może być czulsza i bardziej specyficzna niż ocena kliniczna, co umożliwi eliminację błędów, które pojawiają się niekiedy przy ocenie wzrokowej i grożą błędnymi decyzjami klinicznymi (Ihlen *et al.*, 2019; Irshad *et al.*, 2020; Marcroft *et al.*, 2015; Raghuram *et al.*, 2021, 2019; Silva *et al.*, 2021). W pierwszych badaniach dotyczących automatyzacji GMsA wykorzystywano oprogramowanie *General Movements Toolbox* (GMT), oparte na programie *Musical Gesture Toolbox* do analizy ruchów tancerzy, i analizowano *motiongrams*, czyli dwuwymiarową wizualizację ruchu w czasie (Raghuram *et al.*, 2021). Adde i wsp. (2013, 2009) opisywali użyteczność *motiongrams* w ocenie FMów oraz możliwość detekcji obecności lub braku FMów za pomocą GMT (Fig. 2 w publikacji Adde *et al.*, 2009 obrazuje procedurę reedukacji szumów po filtracji dolnoprzepustowej obrazu, Fig. 3 to przykład *motiongraph*: a) noworodek z FMów, b) noworodek z F-).

Ta sama grupa badaczy przedstawiła wyniki świadczące o zmienności przestrzennego centrum ruchu (*the spatial center of motion*) – parametru obliczonego na podstawie analizy *motiongrams*, uzyskanego przy użyciu GMT – między okresami WM i FMów. Autorzy uznali, że komputerowa analiza wideo może być pomocna w ocenie kierunku i amplitudy FMów u niemowląt urodzonych przedwcześnie (Adde *et al.*, 2018; Støen *et al.*, 2017). Zaobserwowano, iż ruchy symetryczne o dużej i małej amplitudzie powodują niewielkie zmiany wartości wspomnianego parametru, natomiast wszelkie zaburzenia związane z niesymetryczną pracą kończyn wywołują zazwyczaj większą zmienność wartości. Zdaniem autorów metoda ta może być skutecznie stosowana jako badanie przesiewowe w celu identyfikacji noworodków predysponowanych do regularnej GMsA (Støen *et al.*, 2017). Badacze podkreślają, że identyfikacja FMów i przewidywanie MPD powinny bazować na dwukrotnej analizie *motiongrams* (Adde *et al.*, 2013).

W celu uwzględnienia w ocenie – dokonywanej na podstawie dwuwymiarowego zapisu wideo – cech kinematycznych takich jak prędkość i/lub przyspieszenie ruchu kończyn Orlandi i wsp. (2018) zaproponowali użycie metody

przepływu optycznego do oceny przemieszczeń obrazu (*large displacement optical flow*, wizualizacja – Fig. 1 w Orlandi *et al.*, 2018). Ocenili cechy kinematyczne ruchu u noworodków urodzonych przedwcześnie, kwalifikując ruch jako typowy lub atypowy. Przeanalizowali 127 nagrań, wykorzystując w ocenie wspomnianą klasyfikację, i uzyskali 92-procentową dokładność w predykcji MPD (Orlandi *et al.*, 2018).

Ocenę postawy noworodka i/lub niemowlęcia wraz z położeniem kończyn zapewnia metoda automatycznej estymacji pozycji (*automated pose estimation*), bazująca na oprogramowaniu *OpenPose*, która pozwala na lokalizację 18 punktów na ciele i stworzenie modelu szkieletu (Marchi *et al.*, 2019). Detekcję punktów na ciele z użyciem oprogramowania *OpenPose* zaprezentowano na ryc. 1 (Fig. 1) w pracy McCaya i wsp. z 2019 roku.

W 2019 roku Marchi i wsp. zaprezentowali możliwość ilościowej oceny postawy i ruchu dziecka na bazie szkieletu uzyskanego za pomocą metody automatycznej estymacji pozycji (wizualizacja – Fig. 2 w Marchi *et al.*, 2019). Uzyskali wysoką zgodność oceny wizualnej motoryki na podstawie szkieletu i konwencjonalnego nagrania wideo (K Cohena = 0,90) (Marchi *et al.*, 2019).

Rejestrując motorykę w formie wideo, napotkano pewne trudności z samą metodyką badania i tworzeniem trójwymiarowego obrazu noworodka. Badacze używający techniki obrazowania RGB-D (obrazem RGB-D nazywamy strukturę danych złożoną z obrazu kolorowego wraz ze skojarzoną mapą głębi) (Hesse *et al.*, 2020) i mini-RGB-D (McCay *et al.*, 2019) wskazywali brak dostępu do trójwymiarowego skanu ciała niemowlęcia jako wówczas (2018–2020) główne wyzwanie i cel przyszłych badań. Ze względu na niską jakość danych dotyczących głębi nie można było uchwycić szczegółów takich jak rotacje głowy i kończyn górnych. Brak możliwości przyjęcia przez dziecko pozycji wyjściowej na żądanie okazał się kolejnym wyzwaniem dla zautomatyzowanej GMsA.

Celem pracy Hessego i wsp. (2020) było stworzenie modelu oddającego trójwymiarowy kształt ciała niemowlęcia. Metodą SMIL (*Skinned Multi-Infant Linear body model*) z niekompletnych, niskiej jakości sekwencji danych RGB-D swobodnie poruszającego się niemowlęcia stworzono model pozwalający na wychwytywanie wystarczającej ilości szczegółów ruchu i aktywności niezbędnych do GMsA. W 2020 roku autorzy uznali SMIL za nowe narzędzie zapewniające możliwość analizy postawy i motoryki niemowląt (patrz Fig. 4, 8, 9 w Hesse *et al.*, 2020), sugerując, że to ważny krok w kierunku rzetelnego zautomatyzowania GMsA.

Schroeder i wsp. opublikowali w 2020 roku wyniki badania, w którym wykorzystali system śledzenia ruchu pozwalający na oszacowanie pozycji ciała niemowlęcia w trójwymiarowej przestrzeni, co umożliwiała analizę ruchów kątowych w stawach z trzema stopniami swobody. Zastosowano tu narzędzie KineMat – system oparty na metodzie RGB-D, do którego użycia nie są konieczne markery. Dodatkowo posłużono się modelem SMIL (Fig. 2 w Schroeder *et al.*, 2020).

Następnie wykonano nagrania – konwencjonalne, standardowe nagranie wideo oraz wideo trójwymiarowe – które zaprezentowano klinicyście oceniającemu GMs. Wykazano zadowalającą zgodność GMsA na podstawie obu nagrań, pozwalającą na predykcję wystąpienia MPD w grupie badanej (Schroeder *et al.*, 2020).

Metodyka i technika rejestracji wideo dla potrzeb oceny motoryki wciąż są ulepszone przy wsparciu nowych technologii (Silva *et al.*, 2021). Do rejestrowania ruchu służą systemy kamer wideo (np. Vicon System) i/lub kontrolery ruchu znane z konsoli Microsoft Kinect, PlayStation Move czy Nintendo Wii. Informacje o motoryce dziecka można zbierać przy użyciu czujników elektromagnetycznych (*electromagnetic tracking system*), inercyjnej jednostki pomiarowej (*inertial measurement unit*, IMU) lub akcelerometrów (Irshad *et al.*, 2020). Techniki uwzględniające czujniki charakteryzują się wyższą precyzją w porównaniu z badaniami bez czujników. Uważa się, że ocena motoryki z zastosowaniem markerów może być skuteczniejsza niż samo wideo 2D (Raghuram *et al.*, 2021). Należy jednak podkreślić, że obecność czujników może mieć wpływ na zachowanie dziecka. Innym ważnym aspektem jest konieczność kalibracji markerów, odpowiedniego umieszczenia ich na ciele dziecka i sprawdzenia poziomu naładowania baterii, co wymaga dodatkowego nakładu czasu i może wzbudzać u rodziców/prawnych opiekunów dziecka niepotrzebny niepokój o bezpieczeństwo (Doroniewicz *et al.*, 2020).

Automatyzacja GMsA, poza rejestracją motoryki i tworzeniem dwu- i trójwymiarowych modeli ruchu w czasie, to także oprogramowanie i systemy z odpowiednimi algorytmami uczenia maszynowego, bazującymi na sztucznej inteligencji (*artificial intelligence*) i poprawiającymi się automatycznie przez doświadczenie (*machine learning*), które pozwalają na ocenę zarejestrowanej motoryki, a w efekcie na oszacowanie np. ryzyka zaburzeń neurorozwojowych (Doroniewicz *et al.*, 2020; Fontana *et al.*, 2021; Ihlen *et al.*, 2019; Irshad *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021). Ihlen i wsp. zaprezentowali w 2019 roku nowatorski model uczenia maszynowego – model komputerowej oceny ruchu niemowląt (Computer-based Infant Movement Assessment, CIMA), stworzony z myślą o wczesnym przewidywaniu MPD na podstawie nagrań wideo niemowląt. Model CIMA został zaprojektowany do oceny proporcji ruchów związanych z ryzykiem wystąpienia MPD przy użyciu oceny rozkładu trajektorii ruchu poszczególnych części ciała niemowlęcia i przetestowany na nagraniach wideo 377 niemowląt wysokiego ryzyka w wieku skorygowanym od 9 do 15 tygodni. Wyniki działania modelu porównano z wynikami GMsA i badań obrazowych. Autorzy wykazali czułość i swoistość modelu CIMA z GMsA i badaniem obrazowym w przewidywaniu MPD mózgu na poziomie odpowiednio 93% i 82% (Ihlen *et al.*, 2019). Opis algorytmów klasyfikacji, które oceniają dane wejściowe i mogą być pomocne w procesie podejmowania decyzji klinicznych (różnicowanie motoryki) lub stawiania diagnozy (np. MPD), wykracza poza ramy niniejszego przeglądu. Szczegółowy opis, obejmujący wady

i zalety takich algorytmów, przedstawiono w dwóch niedawno opublikowanych przeglądach piśmiennictwa: Irshada i wsp. z 2020 roku oraz Silvy i wsp. z 2021 roku. W czerwcu 2021 roku ukazały się wyniki przeglądu piśmiennictwa z metaanalizą autorstwa Raghuram i wsp. dotyczącego czułości i swoistości zautomatyzowanej oceny GMs – autorzy podkreślili jej wciąż niższą wartość predykcyjną w porównaniu ze standardową, kliniczną GMsA. Podobne wnioski zaprezentowali w marcu 2021 roku Silva i wsp. – przy aktualnym stanie wiedzy i obecnych rozwiązaniach technologicznych zautomatyzowana ocena GMs nie może zastępować oceny dokonywanej przez klinicystę.

Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść publikacji oraz rościć sobie prawo do tej publikacji.

Piśmiennictwo

- Adde L, Brown A, van den Broeck C et al.: In-Motion-App for remote General Movement Assessment: a multi-site observational study. *BMJ Open* 2021; 11: e042147.
- Adde L, Helbostad J, Jensenius AR et al.: Identification of fidgety movements and prediction of CP by the use of computer-based video analysis is more accurate when based on two video recordings. *Physiother Theory Pract* 2013; 29: 469–475.
- Adde L, Helbostad JL, Jensenius AR et al.: Using computer-based video analysis in the study of fidgety movements. *Early Hum Dev* 2009; 85: 541–547.
- Adde L, Thomas N, John HB et al.: Early motor repertoire in very low birth weight infants in India is associated with motor development at one year. *Eur J Paediatr Neurol* 2016; 20: 918–924.
- Adde L, Yang H, Sæther R et al.: Characteristics of general movements in preterm infants assessed by computer-based video analysis. *Physiother Theory Pract* 2018; 34: 286–292.
- Aizawa CYP, Einspieler C, Genovesi FF et al.: The general movement checklist: a guide to the assessment of general movements during preterm and term age. *J Pediatr (Rio J)* 2021; 97: 445–452.
- Aker K, Thomas N, Adde L et al.: Prediction of outcome from MRI and general movements assessment after hypoxic-ischaemic encephalopathy in low-income and middle-income countries: data from a randomised controlled trial. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2022; 107: 32–38.
- Allinson LG, Denehy L, Doyle LW et al.: Physiological stress responses in infants at 29–32 weeks' postmenstrual age during clustered nursing cares and standardised neurobehavioural assessments. *BMJ Paediatr Open* 2017a; 1: e000025.
- Allinson LG, Doyle LW, Denehy L et al.: Survey of neurodevelopmental allied health teams in Australian and New Zealand neonatal nurseries: staff profile and standardised neurobehavioural/neurological assessment. *J Paediatr Child Health* 2017b; 53: 578–584.
- Barbosa VM, Smith EV, Bos A et al.: Psychometric properties of the general movement optimality score using Rasch measurement. *J Appl Meas* 2020; 21: 17–37.
- Barnes F, Graham L, Loganathan P et al.: General movement assessment predicts neuro-developmental outcome in very low birth weight infants at two years – a five-year observational study. *Indian J Pediatr* 2021; 88: 28–33.
- Bernhardt I, Marbacher M, Hilfiker R et al.: Inter- and intra-observer agreement of Prechtl's method on the qualitative assessment of general movements in preterm, term and young infants. *Early Hum Dev* 2011; 87: 633–639.

- Bos AF, van Loon AJ, Hadders-Algra M et al.: Spontaneous motility in preterm, small-for-gestational age infants. II. Qualitative aspects. *Early Hum Dev* 1997; 50: 131–147.
- Brown AK, Greisen G, Haugsted U et al.: Formal training in general movement assessment is required to effectively evaluate infants with perinatal asphyxia in outpatient settings. *Acta Paediatr* 2016; 105: 1056–1060.
- Burger M, Frieg A, Louw QA: General movements as a predictive tool of the neurological outcome in very low and extremely low birth weight infants – a South African perspective. *Early Hum Dev* 2011; 87: 303–308.
- Carroll L, Gallagher L, Smith V: Risk factors for reduced fetal movements in pregnancy: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2019; 243: 72–82.
- Cioni G, Ferrari F, Prechtl HF: Posture and spontaneous motility in fullterm infants. *Early Hum Dev* 1989; 18: 247–262.
- Crowle C, Galea C, Morgan C et al.: Inter-observer agreement of the General Movements Assessment with infants following surgery. *Early Hum Dev* 2017; 104: 17–21.
- Darsaklis V, Snider LM, Majnemer A et al.: Predictive validity of Prechtl's Method on the Qualitative Assessment of General Movements: a systematic review of the evidence. *Dev Med Child Neurol* 2011; 53: 896–906.
- De Roubaix A, Van de Velde D, Roeyers H et al.: Standardized motor assessments before the age of five predicting school-aged motor outcome including DCD: a systematic review. *Eur J Paediatr Neurol* 2021; 30: 29–57.
- Doroniewicz I, Ledwoń DJ, Affanasowicz A et al.: Writhing movement detection in newborns on the second and third day of life using pose-based feature machine learning classification. *Sensors (Basel)* 2020; 20: 5986.
- Einspieler C, Prechtl HFR: Prechtl's assessment of general movements: a diagnostic tool for the functional assessment of the young nervous system. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* 2005; 11: 61–67.
- Einspieler C, Bos AF, Libertus ME et al.: The general movement assessment helps us to identify preterm infants at risk for cognitive dysfunction. *Front Psychol* 2016a; 7: 406.
- Einspieler C, Marschik PB, Milioti S et al.: Are abnormal fidgety movements an early marker for complex minor neurological dysfunction at puberty? *Early Hum Dev* 2007; 83: 521–525.
- Einspieler C, Marschik PB, Pansy J et al.: The general movement optimality score: a detailed assessment of general movements during preterm and term age. *Dev Med Child Neurol* 2016b; 58: 361–368.
- Einspieler C, Prayer D, Marschik PB: Fetal movements: the origin of human behaviour. *Dev Med Child Neurol* 2021; 63: 1142–1148.
- Einspieler C, Prechtl HF, Ferrari F et al.: The qualitative assessment of general movements in preterm, term and young infants – review of the methodology. *Early Hum Dev* 1997; 50: 47–60.
- Einspieler C, Prechtl HFR, Bos AF et al.: Prechtl's Method on the Qualitative Assessment of General Movements in Preterm, Term and Young Infants. *Clinics in Developmental Medicine*, Mac Keith Press, London, UK 2004; 167.
- Ferrari F, Cioni G, Prechtl HF: Qualitative changes of general movements in preterm infants with brain lesions. *Early Hum Dev* 1990; 23: 193–231.
- Ferrari F, Prechtl HF, Cioni G et al.: Posture, spontaneous movements, and behavioural state organisation in infants affected by brain malformations. *Early Hum Dev* 1997; 50: 87–113.
- Fjørtoft T, Einspieler C, Adde L et al.: Inter-observer reliability of the "Assessment of Motor Repertoire – 3 to 5 Months" based on video recordings of infants. *Early Hum Dev* 2009; 85: 297–302.
- Fjørtoft T, Grunewaldt KH, Løhaugen GCC et al.: Adaptive behavior in 10–11 year old children born preterm with a very low birth weight (VLBW). *Eur J Paediatr Neurol* 2015; 19: 162–169.
- Fjørtoft T, Grunewaldt KH, Løhaugen GCC et al.: Assessment of motor behaviour in high-risk-infants at 3 months predicts motor and cognitive outcomes in 10 years old children. *Early Hum Dev* 2013; 89: 787–793.
- Fontana C, Ottaviani V, Veneroni C et al.: An automated approach for general movement assessment: a pilot study. *Front Pediatr* 2021; 9: 720502.
- Frøen JF, Heazell AEP, Tveit JVH et al.: Fetal movement assessment. *Semin Perinatol* 2008; 32: 243–246.
- Garcia JM, Gherpelli JLD, Leone CR: The role of spontaneous general movement assessment in the neurological outcome of cerebral lesions in preterm infants. *J Pediatr (Rio J)* 2004; 80: 296–304.
- George JM, Boyd RN, Colditz PB et al.: PPREMO: a prospective cohort study of preterm infant brain structure and function to predict neurodevelopmental outcome. *BMC Pediatr* 2015; 15: 123.
- George JM, Colditz PB, Chatfield MD et al.: Early clinical and MRI biomarkers of cognitive and motor outcomes in very preterm born infants. *Pediatr Res* 2021; 90: 1243–1250.
- George JM, Fiori S, Fripp J et al.: Relationship between very early brain structure and neuromotor, neurological and neurobehavioral function in infants born <31 weeks gestational age. *Early Hum Dev* 2018; 117: 74–82.
- Grunewaldt KH, Fjørtoft T, Bjuland KJ et al.: Follow-up at age 10 years in ELBW children – functional outcome, brain morphology and results from motor assessments in infancy. *Early Hum Dev* 2014; 90: 571–578.
- Harpster K, Merhar S, Priyanka Illapani VS et al.: Associations between early structural magnetic resonance imaging, Hammersmith Infant Neurological Examination, and General Movements Assessment in infants born very preterm. *J Pediatr* 2021; 232: 80–86.e2.
- Hesse N, Pujades S, Black MJ et al.: Learning and tracking the 3D body shape of freely moving infants from RGB-D sequences. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* 2020; 42: 2540–2551.
- Ihlen EAF, Støen R, Boswell L et al.: Machine learning of infant spontaneous movements for the early prediction of cerebral palsy: a multi-site cohort study. *J Clin Med* 2019; 9: 5.
- Irshad MT, Nisar MA, Gouverneur P et al.: AI approaches towards Prechtl's assessment of general movements: a systematic literature review. *Sensors (Basel)* 2020; 20: 5321.
- Ivanov IS, Shukerski KG, Chepishewa EV: Spontaneous motor activity three months after birth in comparison with clinical and ultrasound studies. *Folia Med (Plovdiv)* 2005; 47: 18–23.
- Jäkel F, Singh M, Wichmann FA et al.: An overview of quantitative approaches in Gestalt perception. *Vision Res* 2016; 126: 3–8.
- Kahraman A, Livanelioğlu A, Kara ÖK et al.: Are general movements at 3–5 months correlated and compatible with the Bayley-III at 1,5–2 years age? *Turk J Pediatr* 2020; 62: 89–93.
- Katusić A, Žunić Išasegi I, Radoš M et al.: Transient structural MRI patterns correlate with the motor functions in preterm infants. *Brain Dev* 2021; 43: 363–371.
- Kelly CE, Thompson DK, Cheong JL et al.: Brain structure and neurological and behavioural functioning in infants born preterm. *Dev Med Child Neurol* 2019; 61: 820–831.
- Kepenek-Varol B, Çalıřkan M, İnce Z et al.: The comparison of general movements assessment and neurological examination during early infancy. *Turk J Pediatr* 2016; 58: 54–62.
- Khorrani N, Stone J, Small MJ et al.: An overview of advances in global maternal health: from broad to specific improvements. *Int J Gynaecol Obstet* 2019; 146: 126–131.
- Kwong AK, Eeles AL, Olsen JE et al.: The Baby Moves smartphone app for General Movements Assessment: engagement amongst extremely preterm and term-born infants in a state-wide geographical study. *J Paediatr Child Health* 2019; 55: 548–554.
- Lachin JM: The role of measurement reliability in clinical trials. *Clin Trials* 2004; 1: 553–566.
- Marchi V, Hakala A, Knight A et al.: Automated pose estimation captures key aspects of General Movements at eight to 17 weeks from conventional videos. *Acta Paediatr* 2019; 108: 1817–1824.
- Marcroft C, Khan A, Embleton ND et al.: Movement recognition technology as a method of assessing spontaneous general movements in high risk infants. *Front Neurol* 2015; 5: 284.
- Marschik PB, Pokorný FB, Peharž R et al.; BEE-PRI Study Group: A novel way to measure and predict development: a heuristic approach to facilitate the early detection of neurodevelopmental disorders. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2017; 17: 43.
- Matheson GJ: We need to talk about reliability: making better use of test-retest studies for study design and interpretation. *PeerJ* 2019; 7: e6918.

- McCay KD, Ho ESL, Marcroft C et al.: Establishing pose based features using histograms for the detection of abnormal infant movements. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2019; 2019: 5469–5472.
- Mutlu A, Einspieler C, Marschik PB et al.: Intra-individual consistency in the quality of neonatal general movements. *Neonatology* 2008; 93: 213–216.
- Olsen JE, Allinson LG, Doyle LW et al.: Preterm and term-equivalent age general movements and 1-year neurodevelopmental outcomes for infants born before 30 weeks' gestation. *Dev Med Child Neurol* 2018; 60: 47–53.
- Olsen JE, Cheong JLY, Eeles AL et al.: Early general movements are associated with developmental outcomes at 4.5–5 years. *Early Hum Dev* 2020; 148: 105115.
- Orlandi S, Raghuram K, Smith CR et al.: Detection of atypical and typical infant movements using computer-based video analysis. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2018; 2018: 3598–3601.
- Ostrzyżek-Przeździecka K, Bukowski J, Furman T et al.: Ocena globalnych wzorców ruchowych, część II: wykorzystanie oceny globalnych wzorców ruchowych w prognozowaniu wystąpienia mózgowego porażenia dziecięcego – przegląd zakresu literatury. *Aktualn Neurol* 2021; 21: 204–216.
- Örtqvist M, Einspieler C, Adén U: Early prediction of neurodevelopmental outcomes at 12 years in children born extremely preterm. *Pediatr Res* 2021. DOI: 10.1038/s41390-021-01564-w.
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM et al.: The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021; 372: n71.
- Peyton C, Pascal A, Boswell L et al.: Inter-observer reliability using the General Movement Assessment is influenced by rater experience. *Early Hum Dev* 2021; 161: 105436.
- Peyton C, Yang E, Kocherginsky M et al.: Relationship between white matter pathology and performance on the General Movement Assessment and the Test of Infant Motor Performance in very preterm infants. *Early Hum Dev* 2016; 95: 23–27.
- Peyton C, Yang E, Msall ME et al.: White matter injury and general movements in high-risk preterm infants. *AJNR Am J Neuroradiol* 2017; 38: 162–169.
- Pires CDS, Marba STM, Caldas JPS et al.: Predictive value of the general movements assessment in preterm infants: a meta-analysis. *Rev Paul Pediatr* 2020; 38: e2018286.
- Ploegstra WM, Bos AF, de Vries NKS: General movements in healthy full term infants during the first week after birth. *Early Hum Dev* 2014; 90: 55–60.
- Pouppirt NR, Martin V, Pagnotto-Hammit L et al.: The General Movements Assessment in neonates with hypoxic ischemic encephalopathy. *J Child Neurol* 2021; 36: 601–609.
- Prechtl HF: General movement assessment as a method of developmental neurology: new paradigms and their consequences. The 1999 Ronnie MacKeith lecture. *Dev Med Child Neurol* 2001; 43: 836–842.
- Prechtl HF: Qualitative changes of spontaneous movements in fetus and preterm infant are a marker of neurological dysfunction. *Early Hum Dev* 1990; 23: 151–158.
- Prechtl HF: The behavioural states of the newborn infant (a review). *Brain Res* 1974; 76: 185–212.
- Prechtl HFR: The importance of fetal movements. In: Connolly KJ, Forssberg H (eds.): *Neurophysiology and Neuropsychology of Motor Development*. Clinics in Developmental Medicine, No. 143/144, Mac Keith Press, London, UK 1997: 42–53.
- Prechtl HFR: *The Neurological Examination of the Full-Term Newborn Infant: A Manual for Clinical Use from the Department of Developmental Neurology*. Clinics in Developmental Medicine, No. 63, Mac Keith Press, London, UK 1991.
- Prechtl HFR: The study of neural development as a perspective of clinical problems. In: Connolly KJ, Prechtl HFR (eds.): *Maturation and Development: Biological and Psychological Perspectives*. Clinics in Developmental Medicine, No. 77–78, 1981: 189–215.
- Prechtl HFR, Nolte R: Motor behavior of preterm infants. In: Prechtl HFR (ed.): *Continuity of Neural Functions from Prenatal to Postnatal Life*. Clinics in Developmental Medicine, No. 94, Blackwell Scientific Publications, Oxford 1984: 79–92.
- Prechtl HF, Einspieler C, Cioni G et al.: An early marker for neurological deficits after perinatal brain lesions. *Lancet* 1997; 349: 1361–1363.
- Prechtl HF, Ferrari F, Cioni G: Predictive value of general movements in asphyxiated fullterm infants. *Early Hum Dev* 1993; 35: 91–120.
- Raghuram K, Orlandi S, Church P et al.: Automated movement recognition to predict motor impairment in high-risk infants: a systematic review of diagnostic test accuracy and meta-analysis. *Dev Med Child Neurol* 2021; 63: 637–648.
- Raghuram K, Orlandi S, Shah V et al.: Automated movement analysis to predict motor impairment in preterm infants: a retrospective study. *J Perinatol* 2019; 39: 1362–1369.
- Ricci E, Einspieler C, Craig AK: Feasibility of using the General Movements Assessment of infants in the United States. *Phys Occup Ther Pediatr* 2018; 38: 269–279.
- Rizzi R, Menici V, Cioni ML et al.; Clinical CareToy-R Consortium: Concurrent and predictive validity of the Infant Motor Profile in infants at risk of neurodevelopmental disorders. *BMC Pediatr* 2021; 21: 68.
- Romeo DMM, Guzzetta A, Scoto M et al.: Early neurologic assessment in preterm-infants: integration of traditional neurologic examination and observation of general movements. *Eur J Paediatr Neurol* 2008; 12: 183–189.
- Roze E, Meijer L, Van Braeckel KNJA et al.: Developmental trajectories from birth to school age in healthy term-born children. *Pediatrics* 2010; 126: e1134–e1142.
- Saastad E, Winje BA, Stray Pedersen B et al.: Fetal movement counting improved identification of fetal growth restriction and perinatal outcomes – a multi-centre, randomized, controlled trial. *PLoS One* 2011; 6: e28482.
- Sæther R, Støen R, Vik T et al.: A change in temporal organization of fidgety movements during the fidgety movement period is common among high risk infants. *Eur J Paediatr Neurol* 2016; 20: 512–517.
- Saini L, Madaan P, Bhagwat C et al.: Home-videos for neurodevelopmental follow-up of high-risk infants during COVID-19 pandemic: a simple and inexpensive tool. *J Trop Pediatr* 2021; 67: fmaa088.
- Schroeder AS, Hesse N, Weinberger R et al.: General Movement Assessment from videos of computed 3D infant body models is equally effective compared to conventional RGB video rating. *Early Hum Dev* 2020; 144: 104967.
- Sharp M, Coenen A, Amery N: General movement assessment and motor optimality score in extremely preterm infants. *Early Hum Dev* 2018; 124: 38–41.
- Silva N, Zhang D, Kulvicius T et al.: The future of General Movement Assessment: the role of computer vision and machine learning – a scoping review. *Res Dev Disabil* 2021; 110: 103854.
- Snider L, Majnemer A, Mazer B et al.: Prediction of motor and functional outcomes in infants born preterm assessed at term. *Pediatr Phys Ther* 2009; 21: 2–11.
- Snider LM, Majnemer A, Mazer B et al.: A comparison of the general movements assessment with traditional approaches to newborn and infant assessment: concurrent validity. *Early Hum Dev* 2008; 84: 297–303.
- Spittle AJ, Olsen J, Kwong A et al.: The Baby Moves prospective cohort study protocol: using a smartphone application with the General Movements Assessment to predict neurodevelopmental outcomes at age 2 years for extremely preterm or extremely low birthweight infants. *BMJ Open* 2016a; 6: e013446.
- Spittle AJ, Spencer-Smith MM, Cheong JL et al.: General movements in very preterm children and neurodevelopment at 2 and 4 years. *Pediatrics* 2013; 132: e452–e458.
- Spittle AJ, Walsh J, Olsen JE et al.: Neurobehaviour and neurological development in the first month after birth for infants born between 32–42 weeks' gestation. *Early Hum Dev* 2016b; 96: 7–14.
- Stoen R, Songstad NT, Silberg IE et al.: Computer-based video analysis identifies infants with absence of fidgety movements. *Pediatr Res* 2017; 82: 665–670.
- Sustersic B, Paro-Panjan D: Assessment of general movements in relation to neurologic signs at age two years. *Pediatr Neurol* 2008; 39: 108–112.

- Sustersic B, Sustar K, Paro-Panjan D: General movements of preterm infants in relation to their motor competence between 5 and 6 years. *Eur J Paediatr Neurol* 2012; 16: 724–729.
- Svensson KA, Örtqvist M, Bos AF et al.: Usability and inter-rater reliability of the NeuroMotion app: a tool in General Movements Assessments. *Eur J Paediatr Neurol* 2021; 33: 29–35.
- Tomantschger I, Herrero D, Einspieler C et al.: The general movement assessment in non-European low- and middle-income countries. *Rev Saude Publica* 2018; 52: 6.
- Tricco AC, Lillie E, Zarin W et al.: PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. *Ann Intern Med* 2018; 169: 467–473.
- Ustad T, Evensen KAI, Bertonecelli N et al.: Validity of the general movement optimality list in infants born preterm. *Pediatr Phys Ther* 2017; 29: 315–320.
- Valentin T, Uhl K, Einspieler C: The effectiveness of training in Prechtl's method on the qualitative assessment of general movements. *Early Hum Dev* 2005; 81: 623–627.
- de Vries NKS, Bos AF: The quality of general movements in the first ten days of life in preterm infants. *Early Hum Dev* 2010; 86: 225–229.
- de Vries NKS, Erwich JJHM, Bos AF: General movements in the first fourteen days of life in extremely low birth weight (ELBW) infants. *Early Hum Dev* 2008; 84: 763–768.
- Xie K, Zheng H, Li H et al.: The study of effect for general movements assessment in the diagnosis of neurological development disorders: a meta-analysis. *Clin Pediatr (Phila)* 2016; 55: 36–43.
- Yeh KK, Liu WY, Wong AMK et al.: Intra-observer reliability of Prechtl's method for the qualitative assessment of general movements in Taiwanese infants. *J Phys Ther Sci* 2016; 28: 1588–1594.
- Yeh KK, Liu WY, Wong AMK et al.: Validity of General Movement Assessment based on clinical and home videos. *Pediatr Phys Ther* 2020; 32: 35–43.
- Zang FF, Yang H, Han Q et al.: Very low birth weight infants in China: the predictive value of the motor repertoire at 3 to 5 months for the motor performance at 12 months. *Early Hum Dev* 2016; 100: 27–32.
- Zorzenon RFM, Takaara LK, Linhares MBM: General spontaneous movements in preterm infants differentiated by post-conceptual ages. *Early Hum Dev* 2019; 134: 1–6.